

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“EVALUACIÓN DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS DE FIBRA DE
VIDRIO APLICADOS A BOMBAS CENTRIFUGAS
HORIZONTALES”**

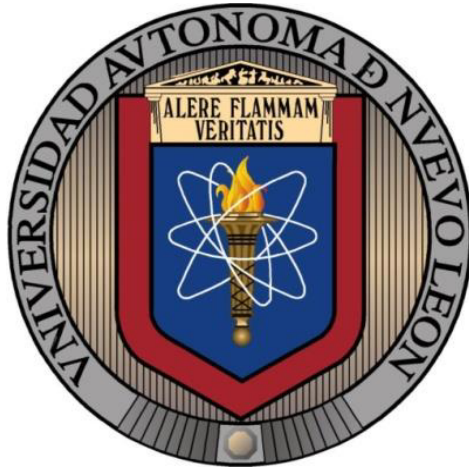
POR

CARLOS ALBERTO PEREZ ROMERO

**PROYECTO TERMINAL
COMO OPCIÓN A OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN TERMOFLUIDOS**

AGOSTO 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“EVALUACIÓN DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS DE FIBRA DE VIDRIO
APLICADOS A BOMBAS CENTRIFUGAS HORIZONTALES”**

POR
CARLOS ALBERTO PEREZ ROMERO

PROYECTO TERMINAL
COMO OPCIÓN A OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN TERMOFLUIDOS

DIRECTOR
DR. FAUSTO ALEJANDRO SÁNCHEZ CRUZ

AGOSTO 2016

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“EVALUACIÓN DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS DE FIBRA DE VIDRIO
APLICADOS A BOMBAS CENTRIFUGAS HORIZONTALES”**

**POR
CARLOS ALBERTO PEREZ ROMERO**

PROYECTO TERMINAL

**COMO OPCIÓN A OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN TERMOFLUIDOS**

**DIRECTOR
DR. FAUSTO ALEJANDRO SÁNCHEZ CRUZ**

AGOSTO 2016

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Titulación recomendamos que el Proyecto Terminal “Evaluación de aislamientos térmicos de fibra de vidrio aplicados en bombas centrífugas horizontales”, realizada por el estudiante Carlos Alberto Perez Romero, con número de matrícula 0896073, sea aceptado para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Especialidad en Termofluidos.

El Comité de Titulación



Dr. Fausto Alejandro Sánchez Cruz

Director



M.C. Miguel García Yera

Revisor



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, agosto 2016

Agradecimiento

Quiero agradecer a mi familia por estar siempre presente, por su invaluable apoyo y por sus palabras de aliento en los momentos difíciles.

Al Dr. Fausto A. Sánchez Cruz por su valioso asesoramiento y dedicación a este proyecto durante el tiempo que me tomó desarrollar esta investigación, por su paciencia y sobre todo por los consejos otorgados.

A mi esposa Evelyn R. García Tamez por su apoyo constante e incondicional, y por su paciencia en las horas invertidas en este proyecto.

A mi padre el Ing. Emigdio J. Pérez Ruiz por su apoyo en la elaboración del modelo experimental.

Al Dr. Arturo Morales Fuentes y Dr. Santos Méndez Díaz por el apoyo que me brindaron desinteresadamente para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Rene Mondragón González y M.C. Hugo G. Ramírez Hernández por su soporte brindado en el laboratorio de pruebas.

Al Ing. Fernando Villareal Montemayor por facilitarme el material y asesoramiento del aislamiento térmico.

INDICE

Capítulo I

Antecedentes.....	3
Marco Teórico.....	3
Mecanismos de transferencia de calor.....	13
Objetivo.....	15
Hipótesis.....	15

Capítulo II

Metodología.....	16
Modelo a analizar.....	20
Diseño de Experimento.....	21
Creación del Modelo Físico.....	22

Capítulo III

Desarrollo de las Pruebas.....	40
Análisis de Resultados Preliminares.....	53
Ampliación de Resultados.....	55
Verificación de Resultados.....	61

Capítulo IV

Conclusión.....	66
-----------------	----

Anexo R-1.....	67
Anexo R-2.....	75
Anexo R-3.....	93
Anexo R-4.....	108
Valor Agregado.....	115
Bibliografía.....	116

Capítulo I

Antecedentes

Continuamente se trabaja en el desarrollo de metodologías para la aplicación de Aislamiento Térmicos en dispositivos específicos con el objeto de ofrecer mejores soluciones a los usuarios de la compañía Ruhrpumpen. Particularmente, resulta de gran importancia la reducción de la temperatura de la superficie expuesta de las bombas centrífugas en sistemas de proceso. Esto debido que al manejarse fluidos a alta temperatura y por la posibilidad de que exista transferencia de calor, produciendo un alto riesgo al personal operativo de nuestros clientes.

Por el momento solamente se cuenta en Ruhrpumpen con revestimientos (chaquetas) con el propósito de reducir el nivel de ruido de la bomba, pero no con el propósito de reducir la temperatura externa de la bomba.

En proyectos actuales para las Refinerías de PEMEX, han solicitado requerimientos de colchas térmicas requiriéndose apego con la normativa NRF-034-PEMEX-2011 [1] “AISLAMIENTOS TERMICOS PARA ALTAS TEMPERATURAS EN EQUIPOS, RECIPIENTES Y TUBERIA SUPERFICIAL”, en la cual requieren de aislamientos térmicos de alta temperatura con rango de 310 K (37 °C) a 1088 K (815 °C), evitando riesgos en la salud de los trabajadores y minimizando el impacto ambiental para las instalaciones donde se apliquen estos materiales.

Marco Teórico

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid realizó una Guía Sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética. En dicha Guía se menciona que la Fibra de Vidrio, por su estructura flexible y térmica, cuenta con una estructura entrelazada que mantiene el aire inmóvil, siendo además incombustible, dado su origen inorgánico. Dentro de las Lanos Minerales se distinguen dos familias: las Lanos de Vidrio y las Lanos de Roca, elaboradas fundiendo arena o rocas basálticas, respectivamente. La Figura 1 muestra el proceso de fabricación de la Fibra de Vidrio.

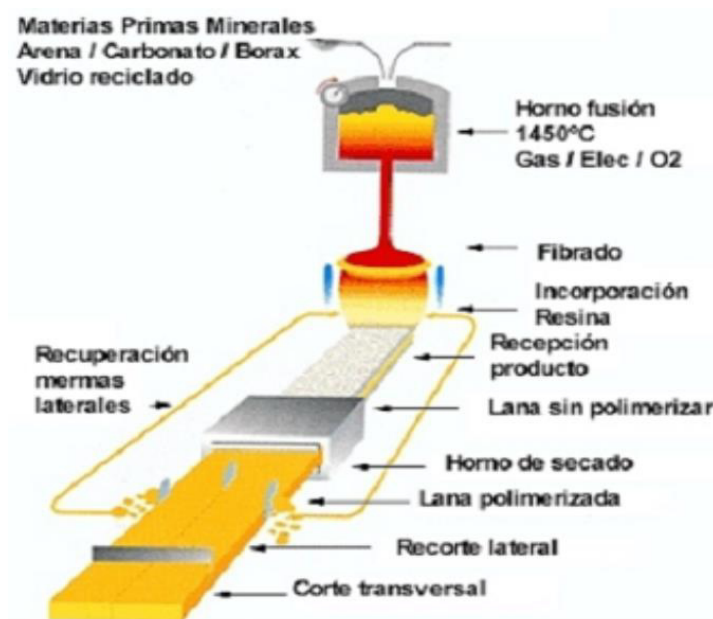


Figura 1. Proceso de Fabricación de la Lana de Vidrio [2].

Por sus propiedades, las Fibras de Vidrio y Lanas Minerales son aislantes que cumplen con una triple condición: aislamiento acústico, aislamiento térmico y, por su naturaleza incombustible, protección contra el fuego.

En el contexto nacional, existen Normas que establecen Aplicaciones y Metodologías para la selección de un Aislamiento Térmico para Protección del Personal.

La normativa de PEMEX NRF-034-PEMEX-2011 “Aislamientos Térmicos para Altas Temperaturas en Equipos, Recipientes y Tubería Superficial”, define los siguientes puntos importantes para nuestro tema:

Para instalaciones existentes, cuando se sustituya el sistema termoaislante, el nuevo material seleccionado puede ser cualquiera de los indicados en esta norma y debe cumplir con la máxima transferencia de calor permisible.

Los materiales termoaislantes deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Deben ser resistentes al paso de calor dentro del rango de temperatura especificado.
- No deben ser corrosivos para la superficie del metal donde se instalará, por lo que el usuario debe especificar el material por aislar.
- Su manejo no debe causar daños al personal, por lo que no deben ser tóxicos, deben ser libres de asbesto y no deben ser clasificados como cancerígenos.
- No deben incrementar el riesgo en la instalación, por lo que no deben ser inflamables o combustibles y en caso de exponerse al fuego no deben desprender vapores tóxicos.
- Deben ser clasificados como residuos de manejo especial, tanto el material sobrante de la instalación inicial como el retirado, una vez que se terminó su tiempo de vida útil. No es permitido el uso de materiales que para su deposición final sean clasificados como residuo peligroso.
- Deben ser resistentes a bacterias y hongos.
- Deben mantener sus propiedades, aún sometidos a temperaturas extremas. Después de 96 horas operando en esta condición, no deben presentar grietas, roturas o disminución de espesor.
- La conductividad térmica debe ser constante a través de la vida útil de los mismos.
- Se requiere que los termoaislantes y materiales complementarios sean, en seco, y con pH alcalino 7.5 como mínimo. Se debe evitar el uso de materiales que al humedecerse adquieran condiciones de acidez para evitar corrosión.
- Debe evitarse el uso de materiales higroscópicos, ya que la presencia de agua genera soluciones de sustancias arrastradas por el vapor ambiental, como cloruros, nitratos y sulfatos, provocando corrosión sobre el acero al carbono y acero inoxidable.

Los materiales aplicables para los sistemas de aislamiento térmico son los indicados en la Tabla 1.

Material termoaislante	Tipo genérico	Formas de presentación y aplicación	Especificación ASTM o equivalente
Lana de roca	Fibras Minerales	Colchas Preformado para tubería Placas Cemento Monolítico	ASTM C592 Tipo II ASTM C547 Tipo II ASTM C612 Tipo V ASTM C449
Fibra de vidrio	Fibras Minerales	Colchas Preformado para tubería	ASTM C592 Tipo I ASTM C547 Tipo I
Perlita expandida	Granulares	Preformado para tubería Placas	ASTM C610 ASTM C610
Silicato de calcio	Granulares	Preformado para tubería Placas	ASTM C533 Tipo I ASTM C533 Tipo I y II

Tabla 1. Materiales para sistemas termoaislantes [1].

Las bridas, válvulas, instrumentos de medición, bombas y equipos o accesorios de mantenimiento frecuente, deben aislarse con termoaislantes removibles. Como alternativa a termoaislantes removibles se podrá forrar con el material termoaislante los accesorios indicados, previa consulta y aprobación del organismo subsidiario. Los termoaislantes preformados podrán aplicarse en su dimensión original o podrán redimensionarse haciendo trazos y cortes necesarios dependiendo de los accesorios y conexiones de tubería, válvulas, así como en bombas o equipo de geometría no uniforme, de manera que se asegure que acoplen perfectamente sobre la superficie donde se instalarán, no dejando espacio entre éstas.

Dentro de esta normativa NRF-034-PEMEX-2011 en el punto **“8.5 Termoaislantes removibles”** establece lo siguiente:

El espesor debe ser igual o mayor al del termoaislante fijo adyacente y debe usarse entre otras, en las siguientes áreas de mantenimiento frecuente:

- a) Válvulas en tubería.
- b) Juego de bridas en tubería.
- c) Registros de hombre y puertos de inspección.
- d) Tapas bridadas de cabezas de cambiadores de calor.
- e) Cuerpos de bombas
- f) Cuerpos de turbinas
- g) Cuerpos de compresores
- h) Indicadores de nivel (Nivel óptico “LG”, transmisores de nivel)
- i) Juntas de expansión

Equipos como bombas, compresores, turbinas entre otros se deben forrar con cubiertas aislantes flexibles y removibles (ASTM C-1094 o equivalente).

Nota: En resumen el ASTM C-1094 [3], define aislamientos flexibles.

Los métodos para el cálculo de la transferencia de calor deben estar basados en lo establecido en la NOM-009-ENER-1995 o en la ISO 12241. En el “Anexo A” se ejemplifica un método de cálculo de la norma oficial mexicana, en el cual definen lo siguiente:

Anexo A. Ejemplo de cálculo

El ejemplo que se muestra está en apego de lo establecido en la NOM-009-ENER-1995 [4].

Se tiene una tubería de 0.3048 m de diámetro (12 in) con una temperatura de operación de 633 K (360 °C). La temperatura ambiente es 305 K (32 °C). La velocidad del aire es 10 000 m/h. La emisividad para aluminio usado es 0.4. Se usa como termoaislante con enchaquetado metálico de aluminio. El espesor termoaislante es 0.1016 m (4 in).

Para definir el comportamiento del sistema termoaislante se aplica el siguiente procedimiento:

Resumen de datos:

Diámetro nominal (Dn)	= 12	
Diámetro exterior (Dr)	= 12.75 in	= 0.3239 m
Diámetro aislado (Da)	= Dr + 2E	= 0.3239 + (2 x 0.1016)
		= 0.5271 m
Top	= 633 K (360 °C)	
Ta	= 305 K (32 °C)	
V	= 10 000 m/h	

$$\varepsilon = 0.4$$

$$E = 0.1016 \text{ m}$$

Procedemos a aplicar la ecuación (2): transferencia de calor en tuberías (superficies cilíndricas).

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{E_{eq} / k + 1/f} \quad (2)$$

En esta ecuación se está aplicando Transferencia de Calor por: Conducción, Convección y Radiación.

El espesor equivalente (E eq) se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_{eq} = r_2 \ln(r_2/r_1)$$

$$r_1 = 0.3239/2 = 0.1619 \text{ m}$$

$$r_2 = r_1 + E = 0.1619 + 0.1016 = 0.2635 \text{ m}$$

Entonces:

$$E_{eq} = 0.2635 \ln(0.2635/0.1619) = 0.1283 \text{ m}$$

La conductividad térmica se determina en función de la temperatura media. Ésta, se calcula de manera aritmética, así:

$$T_m = \frac{T_{op} - T_s}{2} \text{ (K) } \text{ (}^\circ\text{C)} \dots\dots(3)$$

Sin embargo, T_s (temperatura de la superficie exterior) es desconocida, ya que es una consecuencia de la transferencia de calor que aún no conocemos, de modo que en este momento tenemos una ecuación de dos incógnitas que debemos resolver por tanteo y error. Para empezar, suponemos una temperatura superficial que cumpla la siguiente condición:

$$T_{op} \gg T_s > T_a$$

$$T_{ss} = \text{Temperatura de superficie supuesta [K] [}^\circ\text{C]} T_{ss}$$

$$= 313 \text{ K (40 }^\circ\text{C)}$$

Entonces,

$$T_m = \frac{633 + 313}{2} = 473 \text{ K (200}^\circ\text{C)}$$

Por otra parte, la ecuación de la conductividad aproximada del material usado:

$$K = 0.06711 - (2.2641 \times 10^{-4} T_m) \text{ [K]} + (4.196 \times 10^{-7} T_m^2) \text{ W/m-K}$$

$$K = 0.05389 \text{ W/m-K (0.04634 kCal-m/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C)}$$

Nota: Corregir la ecuación de conductividad de acuerdo con el material usado.

Este valor lo aplicamos en la ecuación (2)

$$Q = \frac{633 - 305}{0.1283 / 0.05389 + 1/f}$$

Como $f = hr + hc$:

$$hc = 2.7241 \text{ C Da}^{-0.2} [1.11/(Ts+Ta-510.44)]^{0.181} [1.8(Ts-Ta)]^{0.266} [1+(7.9366 \times 10^{-4} V)]^{0.5}$$

En esta ecuación “hc” la definimos como el “coeficiente de transferencia de calor por convección”, ya que se considera la velocidad del viento.

$$hr = 0.9824 \times 10^{-8} e [(Ta^4 - Ts^4)/(Ts-Ta)].$$

En esta ecuación “hr” la definimos como el “coeficiente de transferencia de calor por radiación” ya que se considera la emisividad del aislante.
Localizamos una observación:
Donde se indica $(Ta^4 - Ts^4)$ se encuentran al revés dichos términos, lo correcto es $(Ts^4 - Ta^4)$, ya que se observará que de esta forma integran los valores en el desarrollo de este ejemplo.

e Emisividad de la superficie

C Coeficiente de forma, 1,79 para superficies planas y 1,016 para tuberías, adimensional.

V Velocidad del aire m/h.

Ta Temperatura ambiente [K]

Ts Temperatura de superficie [K]

Da Diámetro exterior del termoaislante m.

$$hr = 0.9824 \times 10^{-8} \times 0.4 [(305^4 - 313^4)/(305-313)] = 0.4638 \text{ m}^2\text{-K/W}.$$

$$hc = 2.7241 \times 1.016 \times 0.5271^{-0.2} [1.11/(313+305-510.44)]^{0.181} [1.8(313-305)]^{0.266} [1+(7.9366 \times 10^{-4} \times 10,000)]^{0.5} = 8.3545 \text{ m}^2\text{-K/W}.$$

$$hr + hc = 0.4638 + 8.3545 = 8.8183 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$1/f = 1/(hr + hc) = 0.1134 \text{ W/m}^2 - \text{K}$$

$$Q = \frac{633 - 305}{0.1283 / 0.05389 + 0.1134} = 131.48 \text{ W/m}^2$$

$$Q = 131.48 \text{ W/m}^2 (113.04 \text{ Kcal/h-m}^2)$$

Con el resultado de este primer tanteo procedemos a calcular la temperatura de superficie que se deriva de esta transferencia de calor empleando la ecuación.

T_{sc} = Temperatura de superficie calculada [K] [°C]

$$T_{sc} = Q / f + T_a \quad (4)$$

$$T_{sc} = 131,48 \times 0,1134 + 305 = 319,91 \text{ K (46,91 °C)}$$

Entonces:

$$T_{sc} - T_{ss} = 319,91 - 313 = 6,91 \text{ K (°C)}$$

Como podemos observar, la diferencia entre la temperatura de superficie calculada y la supuesta es mucho mayor que 1.0, por lo tanto, siendo este valor el máximo aceptable, hacemos un nuevo tanteo. La secuencia es la siguiente:

- 1) $T_{ss} = 320 \text{ K (47 °C)}$
- 2) $h_r = 0.9824 \times 10^{-8} \times 0.4 [(305^4 - 313^4)/(305 - 313)] = 0.4638 \text{ m}^2\text{-K/W.}$
- 3) $h_c = 2.7241 \times 1.016 \times 0.5271^{-0.2} [1.11/(320 + 305 - 510.44)]^{0.181} [1.8(320 - 305)]^{0.266} [1 + (7.9366 \times 10^{-4} \times 10\,000)]^{0.5} = 9.763 \text{ m}^2\text{-K/W}$
- 4) $h_r + h_c = 0.480 + 9.763 = 10.243 \text{ m}^2\text{-K/W}$
- 5) $1/f = 1/(h_r + h_c) = 0.09763 \text{ W/m}^2 - \text{K}$
- 6) $T_m = (633 + 320)/2 = 476.50 \text{ K (203.50 °C)}$
- 7) $k = 0.05450 \text{ W/m - K (0.04685 kCal-m/h-m}^2\text{-°C)}$
- 8) $Q = (633 - 305)/[(0.1283/0.05450) + 0.09763] = 133.73 \text{ W/m}^2 (114.98 \text{ kCal/h-m}^2)$
- 9) $T_{sc} = 133.73 \times 0.09763 + 305 = 318.06 \text{ K (45.06 °C)}$
- 10) $T_{sc} - T_{ss} = 320 - 318.06 = 1.94$

Para este segundo tanteo la diferencia es menor. En sucesivas iteraciones esta diferencia tiende a cero. Bastarían cinco o diez para que las temperaturas de superficie supuesta y calculada se igualen hasta diezmilésimas; entonces, podemos considerar que el cálculo de la transferencia de calor es correcto. Así, el comportamiento del sistema termoaislante queda definido por los siguientes valores.

$$Q = 133.25 \text{ W/m}^2 (114.57 \text{ Kcal/h-m}^2)$$

$$K = 0.05435 \text{ W/m-K (0.04673 kCal-m/h-m}^2\text{-°C)}$$

$$T_s = 318 \text{ K (45 °C)}$$

Para sistemas heterogéneos se empleará la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T_a - T_{op}}{E1/k1 + E2/k2 + 1/f}$$

Donde:

E1 Espesor de la primera capa de termoaislante.

- k1 Conductividad térmica de la primera capa de termoaislante.
- E2 Espesor de la segunda capa de termoaislante.
- k2 Conductividad térmica de la segunda capa de termoaislante

En la NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995 “Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales”, define lo siguiente puntos importantes para nuestro tema:

1.2.6 Cuando en un servicio de alta temperatura se desee pérdida de calor (como en condensadores, enfriadores, etc.) no debe utilizarse termoaislante. Sin embargo, cuando la temperatura superficial sea igual o mayor a 333 K (60°C) será necesario instalar aislamiento térmico para servicio de protección al personal.

2.2 Estándares ASTM C-195 ^[5] Mineral Fiber Thermal Insulation Cement

3.2 Material termoaislante. Material que posee baja conductividad térmica y que por tanto presenta una gran resistencia al paso de calor.

5.2.2 Flexibles. Preformados en hojas, rollos, tubos o unidades rectangulares que tienen un alto grado de flexibilidad. Los termoaislantes fibrosos y elastómetros se encuentran en esta forma.

5.2.3 Colchonetas flexibles. Están cubiertas con malla metálica (metal desplegado y malla de gallinero) en uno o en ambos lados. Pueden fácilmente adaptarse a superficies curvas e irregulares, de modo que simplifican su manejo y aplicación. Los termoaislantes fibrosos son producidos como colchonetas flexibles.

5.4.2 Fibra de vidrio. Es un termoaislante hecho a partir del estado de fusión de una mezcla de arenas con alto contenido de sílice. Según su proceso de manufactura se presenta en dos formas:

- a) Con aglutinantes orgánicos. Poseen estructura propia y preforma. Dan lugar a medias cañas y placas rígidas y semirrígidas. Su densidad comercial es comúnmente entre 16 y 96 Kg/m³, variable según el producto, uso, rigidez y temperatura de uso recomendado. Tienen baja conductividad térmica, facilidad de corte, alta capacidad para recuperar su forma, baja resistencia al impacto y a la compresión, buena estabilidad dimensional, bajos costos de instalación y buena absorción de ruido. Se deben proteger contra la intemperie y abuso mecánico.

Código NC-2, Medias cañas (NMX-C-230):

Clase I hasta 505 K (232°C)

Clase II hasta 727 K (454°C)

Código NC-3, Placas rígidas y semirrígidas (NMX-C-230):

Clase I hasta 505 K (232°C)

Clase II hasta 727 K (454°C)

- b) Con aceites minerales que evitan abrasión entre fibras y que dan lugar a colchonetas. Su densidad comercial usual es 48 kg/m³. Tienen baja conductividad térmica, facilidad de corte, alta resiliencia, baja resistencia al impacto y a la compresión, buena estabilidad dimensional, bajos costos de instalación y buena absorción de ruido. Se deben proteger con recubrimiento contra intemperismo y abuso mecánico.

Código NC-4, Colchoneta:

Clase I hasta 728 K (454°C)

6.1 Cálculo de la transferencia de calor en superficies aisladas.

A continuación se presenta un procedimiento de cálculo para predecir la pérdida o ganancia de calor y las temperaturas de superficie en equipos o tuberías aisladas. Se basa en la consideración de que la estructura del sistema aislante es uniforme, esto es, que el material aislante de las tuberías o las superficies aisladas es de densidad uniforme.

Nomenclatura

Los siguientes símbolos son usados para el desarrollo de las ecuaciones de este capítulo.

C = Coeficiente de forma, 1.79 para superficies planas y 1.016 para tuberías, adimensional.

esp = Espesor del material aislante, m.

t_{op} = Temperatura de operación, K

t_{sup} = Temperatura supuesta de la superficie del termoaislante, K

t_a = Temperatura ambiente, K

k_{ais} = Conductividad térmica del termoaislante, W/(m K)

V = Velocidad del viento, m/h

$Emss$ = Emisividad de la superficie aislada, adimensional

do = Diámetro exterior del equipo o tubería aislado, m

Para el cálculo de la pérdida o ganancia de calor y la temperatura en la superficie en superficies planas o tuberías de diámetro mayor a 610 mm, se emplearán las siguientes relaciones.

1. Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente, h_c (W/m² K):

$$h_c = 3.0075 \times C \times [1.11/(t_{sup} + t_a - 510.44)]^{0.181} \times [1.8 \times (t_{sup} - t_a)]^{0.266} \times (1 + 7.9366 \times 10^{-5} \times V)^{0.5}$$

2. Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por radiación, h_r (W/m² K):

$$h_r = 0.9824 \times 10^{-8} \times Emss \times \frac{t_a^4 - t_{sup}^4}{t_a - t_{sup}}$$

3. Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor, h_s (W/m² K):

$$h_s = h_c + h_r$$

4. Cálculo del flujo de calor por unidad de área, q (W/m²):

$$q = \frac{(t_{op} - t_a)}{[(esp/k_{ais}) + (1/h_s)]}$$

5. Verificación de la temperatura de superficie, t_{sc} (K):

$$t_{sc} = t_a + \frac{q}{h_s}$$

6. Convergencia de la temperatura de superficie

Si $t_{sup} = t_{sc}$, entonces las pérdidas de calor son igual a q y la temperatura en la superficie aislada es t_{sc} . En caso contrario, hacer $t_{sup} = t_{sc}$ y regresar al punto No. 1 del procedimiento de cálculo para superficies planas.

Para el cálculo de la pérdida o ganancia de calor y la temperatura en la superficie en tuberías hasta 609 mm de diámetro nominal, se emplearán las siguientes relaciones:

1. Cálculo del diámetro aislado, d_a (m):

$$d_a = d_o + 2 \times esp$$

2. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente, h_c (W/m² K):

$$h_c = 2.7241 \times C_x (d_a)^{-0.2} \times [1.11 / (t_{sup} + t_a - 510.44)]^{0.181} \times [1.8 \times (t_{sup} - t_a)]^{0.266} \times (1 + 7.9366 \times 10^{-4} \times V)^{0.5}$$

3. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, h_r (W/m² K):

$$h_r = 0.9824 \times 10^{-8} \times \epsilon_{ms} \times \frac{t_a^4 - t_{sup}^4}{t_a - t_{sup}}$$

4. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, h_s (W/m² K)

$$h_s = h_c + h_r$$

5. Cálculo del flujo de calor, q (W/m):

$$q = \frac{\pi \times (t_{op} - t_a)}{\frac{1}{2 \times k_{ais}} \times \ln \frac{d_a}{d_o} + \frac{1}{h_s \times d_a}}$$

6. Verificación de la temperatura de superficie, t_{sc} (K):

$$t_{sc} = t_{op} - \frac{q}{2 \times \pi \times k_{ais}} \times \ln \frac{d_a}{d_o}$$

7. Convergencia de la temperatura de superficie.

Si $t_{sup} = t_{sc}$, entonces las pérdidas de calor son igual a q y la temperatura en la superficie aislada es **tsc**. En caso contrario, hacer $t_{sup} = t_{sc}$ y regresar al punto No. 1 del procedimiento de cálculo para tuberías.

7. Aplicación de aislamiento termico

7.1 Limpieza

7.1.1 La superficie por aislar deberá limpiarse perfectamente, eliminando óxidos, grasas o escoria, usando medios mecánicos como fibra, cepillo de alambre o chorro de arena y/o químicos como solventes aromáticos o gasolina.

7.1.2 No se deben usar solventes clorados para limpiar superficies de acero inoxidable.

Las siguientes son ilustraciones de aislantes aplicados en bombas (Figura 2 y Figura 3):

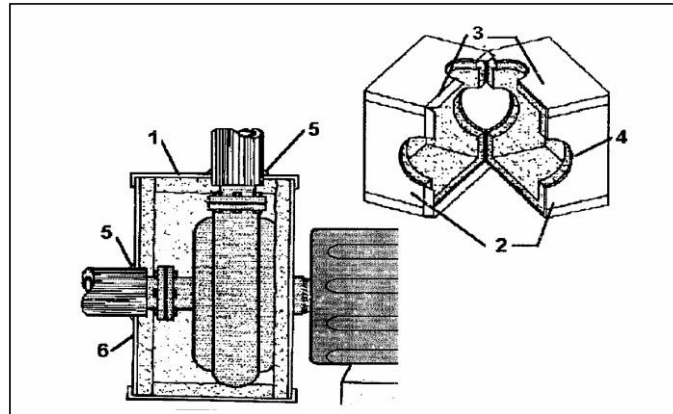


Figura 2. Aislamiento para cubiertas removibles de equipo metálico [4].

Lista de materiales:

1. Cubierta de metal alineada con el aislamiento
2. Secciones de la cubierta
3. Uniones con pijas
4. Cortes para tuberías
5. Sellador O.M.4

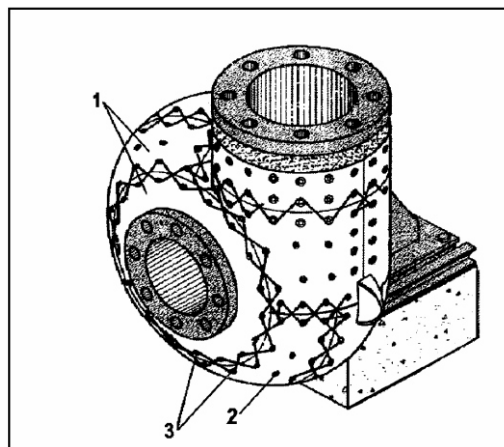


Figura 3. Colchas de aislamiento flexible para alta temperatura [4].

Lista de materiales:

1. Colcha de aislamiento preformado
2. Botones de amarre
3. Ganchos y alambre

Mecanismos de transferencia de calor

El *Calor* se define como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura.

Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de calor transferido conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

La determinación de las razones de transferencia del calor hacia un sistema y desde éste y, por tanto, los tiempos de enfriamiento o de calentamiento, así como de la variación de la temperatura, son el tema de la transferencia de calor.

El requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura. La diferencia de temperatura es la *fuerza impulsora* para la transferencia de calor.

La rapidez de la transferencia de calor en cierta dirección depende de la magnitud del gradiente de temperatura (la diferencia de temperatura por unidad de longitud o la razón de cambio de la temperatura en esa dirección). A mayor gradiente de temperatura, mayor es la razón de la transferencia de calor.

Áreas de aplicación de la transferencia de calor

Es común encontrar la transferencia de calor en los sistemas de ingeniería y otros aspectos de la vida y no es necesario ir muy lejos para ver algunas de sus áreas de aplicación. Por ejemplo, el cuerpo humano emite calor en forma constante hacia sus alrededores y la comodidad humana está íntimamente ligada con la razón de este rechazo de calor.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja [6].

En la Figura 4 se muestran ilustraciones de los procesos de la transferencia de calor.

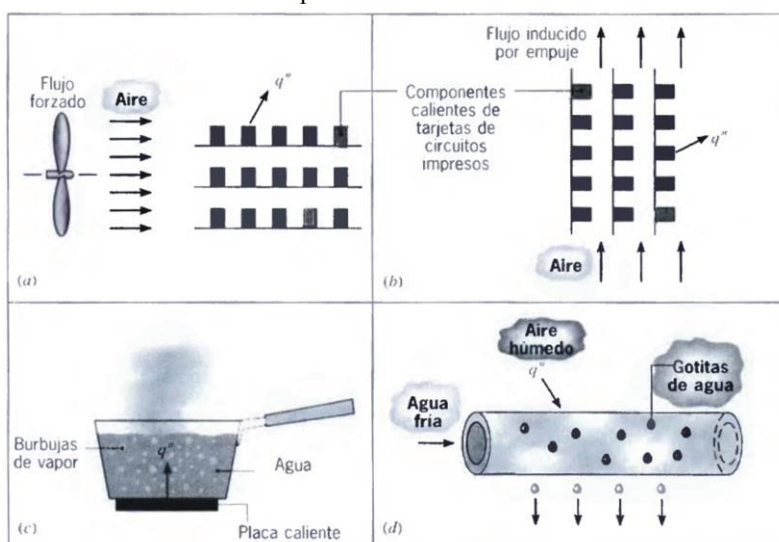


Figura 4. Procesos de transferencia de calor por convección. (a) Convección forzada. (b) Convección natural. (c) Ebullición. (d) Condensación [7].

Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes, menos energéticas, como resultado de la interacción entre ellas.

Uno de los objetivos principales en un análisis de conducción es determinar el campo de temperatura en un medio que resulta de las condiciones impuestas sobre sus fronteras. Es decir deseamos conocer la distribución de temperaturas, que representa como varía la temperatura con la posición en el medio. Una vez que se conoce esta distribución, el flujo de calor por conducción en cualquier punto en el medio o en la superficie se calcula a partir de la ley de Fourier. También es posible determinar otras cantidades importantes. Para un sólido, el conocimiento de la distribución de temperaturas sirve para comprobar la integridad estructural mediante la determinación de los esfuerzos térmicos, sus expansiones y deflexiones. La distribución de temperaturas también es útil para optimizar el espesor de un material aislante o para determinar la compatibilidad de recubrimientos o adhesivos especiales que se usan con el material.

La ley de Fourier puede usarse para calcular la transferencia de calor por conducción a partir del conocimiento de la distribución de temperaturas, aun para condiciones no estables con generación interna de calor [6].

Convección

La convección es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y la advección que resulta del movimiento del fluido [6].

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa con agitación mecánica. Pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada. La agitación mecánica puede aplicarse por medio de un agitador, aun cuando en muchas aplicaciones de proceso se induce circulando los fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de tubos. Las convecciones libre y, forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto, la más común en procesos industriales. Los factores que promueven altas transferencias para la convección forzada, no necesariamente tienen el mismo efecto en la convección libre [8].

El siguiente planteamiento, mostrado en la Figura 5, podemos asimilarlo como el comportamiento generado en una bomba centrífuga horizontal. En el caso mostrado la temperatura del aire adyacente al huevo es más elevada y, por consiguiente, su densidad es más baja, puesto que a presión constante la densidad de un gas es inversamente proporcional a su temperatura. Por tanto, tenemos una situación en la que algo de gas de baja densidad o “ligero” está rodeado por un gas de alta densidad o “pesado” y las leyes naturales dictan que el gas ligero suba. Esto no es diferente a que el aceite en un aderezo para ensalada hecho de vinagre y aceite suba hacia la parte superior (puesto que $\rho_{\text{aceite}} < \rho_{\text{vinagre}}$). Este fenómeno se caracteriza de manera incorrecta mediante la frase “el calor sube”, la cual debe entenderse como: el aire calentado sube. El espacio que deja el aire más caliente en la vecindad del huevo es vuelto a llenar por aire más frío cercano y la presencia de éste en el espacio inmediato al huevo acelera el proceso de enfriamiento. El ascenso del aire más caliente, y el flujo del aire más frío para ocupar su lugar continúan hasta que el huevo se enfría y alcanza la temperatura del aire circundante.

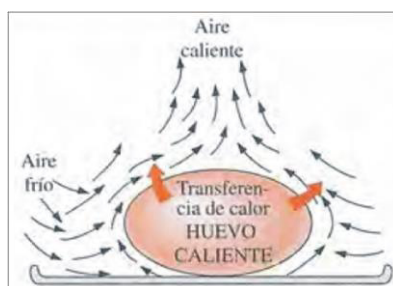


Figura 5. Enfriamiento de un huevo cocido en un medio ambiente más frío por convección natural [6].

Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas [6].

Los aislantes térmicos se componen de materiales de baja conductividad térmica combinados para lograr un sistema de conductividad térmica aún más baja. En aislantes tipo fibra, polvo y escamas, el material sólido se dispersa finamente en el espacio de aire. Estos sistemas se caracterizan por una conductividad térmica efectiva, que depende de la conductividad térmica y de las propiedades radiactivas de la superficie del material sólido, así como de la naturaleza y fracción volumétrica del aire o espacio vacío. Un parámetro especial del sistema es su densidad global (masa del sólido/ volumen total), que depende en gran medida de la forma en la que se conecta al material sólido.

Si se forman pequeños vacíos o espacios huecos al pegar o fundir parte del material sólido, se crea una matriz rígida. Cuando estos espacios se sellan, el sistema se denomina aislante celular. Ejemplos de estos aislantes rígidos son los sistemas de espuma, en particular los que se hacen con materiales plásticos y de vidrio. Los aislantes reflectores se componen de láminas u hojas delgadas multicapa paralelas de alta reflectividad, que están espaciadas para reflejar el calor radiante de regreso a su fuente. El espacio entre las hojas se diseña para restringir el movimiento del aire, y el espacio incluso está al vacío en aislantes de alto rendimiento. En todos los tipos de aislantes, la evacuación del aire en el espacio vacío reduce la conductividad térmica del sistema.

Es importante reconocer que la transferencia de calor a través de cualquier de estos sistemas aislantes incluye varios modos: conducción por los materiales sólidos; conducción o convección a través del aire en los espacios vacíos; y, si la temperatura es suficientemente alta, intercambio de radiación entre las superficies de la matriz sólida. La conductividad térmica efectiva da cuenta de todos estos procesos [7].

Resistencia Térmica

La Resistencia Térmica es la oposición que presenta un cuerpo para transferir calor, por lo cual está relacionada con la caída de temperatura a través de cada capa o pared del cual se componga [6].

Objetivo

Validar la oportunidad de la aplicación de la Norma de PEMEX NRF-034-PEMEX-2011 para la selección de un aislamiento térmico aplicable a una bomba centrífuga que opera a alta temperatura. Mediante la aplicación de la citada Norma se espera seleccionar adecuadamente el aislamiento térmico que permita reducir la temperatura externa de la bomba centrífuga, debido a que al manejarse fluidos a alta temperatura, el calor que se transfiere al exterior de la bomba genera un alto riesgo al personal operativo de las mismas.

Hipótesis

Es factible validar la oportunidad de la aplicación de la Norma de PEMEX NRF-034-PEMEX-2011 para la selección de un aislamiento térmico aplicable a una bomba centrífuga que opera a alta temperatura mediante la comparación obtenida con el uso de la metodología de la Norma, y los resultados obtenidos a través de pruebas físicas en un modelo que tenga semejanza geométrica y que opere bajo condiciones similares de temperatura de superficie externa, equiparables a las de una bomba centrífuga.

Capítulo II

Metodología

En vista de que se requiere realizar un análisis experimental con una geometría similar a la de una bomba centrífuga horizontal, se propone entonces construir un cilindro desde el que sea posible, de forma controlada, establecer una temperatura de superficie exterior equivalente a la que se presenta en el dispositivo real. Se propone fabricar un cilindro de cemento con un diámetro de 28 cm y altura de 9 cm, en el cual se coloca en su interior una Resistencia Eléctrica. Como consecuencia de los cambios térmicos se espera que este cilindro este expuesto a contracciones intensas por lo que se refuerza internamente con una malla de acero, lo que deberá otorgar rigidez al cilindro de cemento.

Primero debemos calcular la potencia (calor) que debe generar la resistencia térmica, suponiendo que en la parte externa del aislamiento no debe superar 60°C, cuando se coloque un aislamiento térmico con espesor de 5.08 cm (2"), y la Temperatura Ambiente se encuentre en 30 °C. Procedemos con los cálculos establecidos a partir de los Fundamentos de la Transferencia de Calor y Masa [7]:

El calor transferido por calor natural se calcula como:

$$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty)$$

donde


$$\bar{h} = \frac{k}{D} \overline{Nu}_D \quad \text{ó} \quad \bar{h} = \frac{k}{L} \overline{Nu}_L$$

Siendo Nu_L el número de Nusselt, que es función del número de Rayleigh definido como:

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu\alpha}$$

Donde el coeficiente de expansión térmica y la temperatura media son respectivamente:


$$\beta = \frac{1}{T_m} \quad T_m = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

Considerando la periferia del Cilindro el número de Nusselt esta dado por la siguiente correlación  [7]:

$$\overline{Nu}_D = \left[0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

Donde el área esta dada por:

$$A = 2 * \pi * r * h$$

Por otra parte, considerando las caras del Cilindro (Círculo)  :

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

Donde el área esta dada por:

$$A = \pi * r^2$$

Las dimensiones externas del Cilindro, ya considerando que se incluye el Aislamiento Térmico son las siguientes:



Considerando las siguientes Temperaturas:

$$T_s = 60\text{ }^{\circ}\text{C} + 273 = 333\text{ K};$$

T_s : Temperatura Superficie.

$$T_{\infty} = 30\text{ }^{\circ}\text{C} + 273 = 303\text{ K};$$

T_{∞} : Temperatura Ambiente.

$$T_m = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} = \frac{333\text{ K} + 303\text{ K}}{2} = 318\text{ K}$$

A partir de la Temperatura Media, obtenemos las siguientes propiedades de la Tabla 2, “Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica”:

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683

Tabla 2. Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica [7].

$\nu = 17.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; Viscosidad Cinemática.

$\alpha = 25.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; Difusividad Térmica.

$k = 27.6 \times 10^{-3} \text{ W/m}\cdot\text{K}$; Conductividad Térmica.

$Pr = 0.704$; Número de Prandtl

$$\beta = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{318K} = 0.00314K^{-1}$$

Coeficiente de expansión volumétrica

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu\alpha}$$

Número de Rayleigh

$$Ra_D = \frac{(9.8 \text{ m/s}^2) \times (0.00314 \text{ K}^{-1}) \times (333K - 303K) \times (0.3816m)^3}{(17.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}) \times (25.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$Ra_D = 128.250 \times 10^6$$

Realizamos el cálculo en la periferia del cilindro:

$$\bar{Nu}_D = \left[0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

Número de Nusselt

$$\bar{Nu}_D = \left[0.60 + \frac{(0.387) \times (128.250 \times 10^6)^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / 0.704)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$\bar{Nu}_D = \left[0.60 + \frac{8.6906}{1.2059} \right]^2$$

$$\bar{Nu}_D = 60.945$$

$$\bar{h} = \frac{k}{D} \bar{Nu}_D = \frac{0.0276 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.3816 \text{ m}} \times 60.945$$

Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección.

$$\bar{h} = 4.407 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$A = 2 * \pi * r * h = 2 * \pi * 0.1908 \text{ m} * 0.1916 \text{ m} = 0.2296 \text{ m}^2$$

De tal forma que el calor transferido es:

$$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) = (4.407 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}) \times (0.2296 \text{ m}^2) \times (333^\circ\text{K} - 303^\circ\text{K}) = 30.35 \text{ W}$$

Realizamos el cálculo en las caras del cilindro:

$$\bar{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + (0.492 / Pr)^{9/16} \right]^{4/9}}$$

$$\bar{Nu}_L = 0.68 + \frac{(0.670) \times (128.250 \times 10^6)^{1/4}}{\left[1 + (0.492 / 0.704)^{9/16} \right]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{71.299}{1.304}$$

$$\overline{Nu}_L = 55.357$$

$$\bar{h} = \frac{k}{L} \overline{Nu}_L = \frac{0.0276 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.1916 \text{ m}} \times 55.357$$

$$\bar{h} = 7.974 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0.1908 \text{ m})^2 = 0.1143 \text{ m}^2$$

Entonces el calor transferido por las caras es:

$$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) = (7.974 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}) \times (0.1143 \text{ m}^2) \times (333 \text{ K} - 303 \text{ K})$$

$$q_{conv} = 27.342 \text{ W} \times 2 \text{ (Caras del Cilindro)} = 54.684 \text{ W}$$

Por lo anterior, la Potencia Total requerida que debe ser disipada por la Resistencia Eléctrica del modelo físico para mantener una temperatura externa de 60°C debe ser aproximadamente: $30.35 \text{ W} + 54.684 \text{ W} = \mathbf{85.034 \text{ W}}$

Teniendo ya el dato de la Potencia (calor) requerida en el modelo físico, se selecciona la impedancia (ohms) de la resistencia eléctrica a manejar, y la corriente (A) que circulará en el Transformador de 24V, esto de acuerdo a las ecuaciones indicadas en la figura 6:

$$P = 85.034 \text{ W}$$

$$V = 24 \text{ V}$$

$$P = V \cdot I \quad \therefore \quad I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{85.034 \text{ W}}{24 \text{ V}} = \mathbf{3.54 \text{ A}}$$

$$V = R \cdot I \quad \therefore \quad R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24 \text{ V}}{3.54 \text{ A}} = \mathbf{6.77 \text{ Ohms}}$$

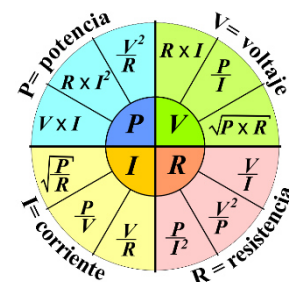
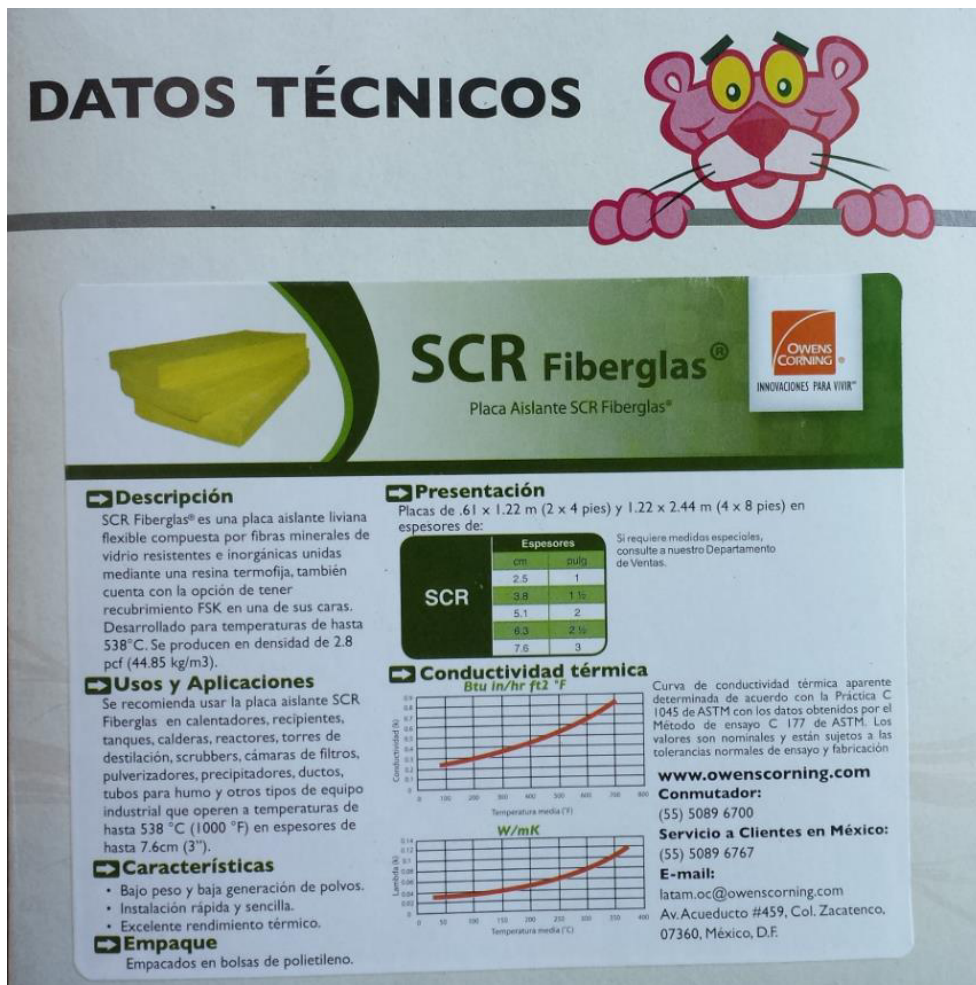


Figura 6. Ecuaciones de Potencia / Voltaje / Corriente / Resistencia [9].


De acuerdo a los cálculos anteriores se requiere de una resistencia eléctrica de 6.7 Ohms y un Transformador de 24V – 5 A.

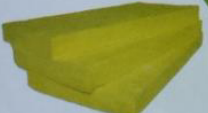
Modelo a analizar

El modelo analizar es el Aislamiento de Fibra de Vidrio “SCR Fiberglas” con un espesor de 2”, el cual cuenta con las siguientes características del proveedor (Ver Figura 7):




DATOS TÉCNICOS





SCR Fiberglas®

Placa Aislante SCR Fiberglas®



Descripción

SCR Fiberglas® es una placa aislante liviana flexible compuesta por fibras minerales de vidrio resistentes e inorgánicas unidas mediante una resina termofija, también cuenta con la opción de tener recubrimiento FSK en una de sus caras. Desarrollado para temperaturas de hasta 538°C. Se producen en densidad de 2.8 pcf (44.85 kg/m³).

Usos y Aplicaciones

Se recomienda usar la placa aislante SCR Fiberglas en calentadores, recipientes, tanques, calderas, reactores, torres de destilación, scrubbers, cámaras de filtros, pulverizadores, precipitadores, ductos, tubos para humo y otros tipos de equipo industrial que operen a temperaturas de hasta 538 °C (1000 °F) en espesores de hasta 7.6cm (3").

Características

- Bajo peso y baja generación de polvos.
- Instalación rápida y sencilla.
- Excelente rendimiento térmico.

Empaque

Empacados en bolsas de polietileno.

Presentación

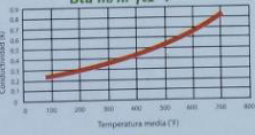
Placas de .61 x 1.22 m (2 x 4 pies) y 1.22 x 2.44 m (4 x 8 pies) en espesores de:

SCR	Espesores	
	cm	ulg
	2.5	1
	3.8	1 1/2
	5.1	2
	6.3	2 1/2
	7.6	3

Si requiere medidas especiales, consulte a nuestro Departamento de Ventas.

Conductividad térmica

Btu in/hr ft² °F



Curva de conductividad térmica aparente determinada de acuerdo con la Práctica C 1045 de ASTM con los datos obtenidos por el Método de ensayo C 177 de ASTM. Los valores son nominales y están sujetos a las tolerancias normales de ensayo y fabricación

www.owenscorning.com
Conmutador:
 (55) 5089 6700
Servicio a Clientes en México:
 (55) 5089 6767
E-mail:
latam.oc@owenscorning.com
 Av. Acueducto #459, Col. Zacatenco, 07360, México, D.F.

W/mK

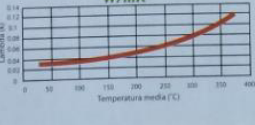


Figura 7. Placa Aislante SCR Fiberglas.

Fibra de Vidrio Owens Corning para el Sector Industrial atiende los problemas de ahorro de energía, reducción del ruido, protección para el personal, pérdidas y ganancias de calor, principalmente. Se presentación es en plaquetas como se muestra en la Figura 8.

Productos de Fibra de Vidrio (Lana de Vidrio) Owens Corning



Figura 8. Productos de Fibra de Vidrio Owens Corning.

Los productos más representativos para el Sector Industrial son los siguientes:

- Sistema Thermorange (TRS): El TRS es el aislamiento térmico ideal para estufas, hornos de autolimpieza, boilers, chimeneas, incineradores, colectores solares y equipos de calefacción que operan a temperaturas de hasta 538° C (1000°F).
- Placas Serie 700 Fiberglas® se recomienda para el aislamiento térmico de equipos industriales, tales como: calderas, hornos, tanques, reactores y equipos de proceso. Tiene un excelente desempeño de absorción de acústica en cines, teatros, auditorios, estudios de grabación, para soportar temperaturas de hasta 232°C (450°F).
- Colchas RW4600 y RW 4300 desarrolladas para temperaturas de hasta 538°C (1000°F): Uso industrial en la generación eléctrica, gas, petroquímica básica y secundaria, refinación de petróleo, industria química, sucroquímica y naviera.
- **Placas SCR Fiberglas (Es el Aislamiento Manejado en Este Proyecto):** Se recomienda usar la placa aislante SCR Fiberglas® en calentadores, recipientes, tanques, calderas, reactores, torres de destilación, cámaras de filtros, etc. Las temperaturas a las que los equipos industriales deben trabajar para que el SCR tenga el mejor desempeño en espesores de hasta 20.32 cm (8"), son de hasta 538°C (1000°F).
- Fiberglas Aislamiento para tubería: Preformado con corte longitudinal abisagrado que se presenta con o sin barrera de vapor ASJ (All Service Jacket) ó FSK (Foil Scrim Kraft), para un rango de temperatura desde -18°C hasta 454°C (0°F hasta 850°F). Es el aislamiento térmico ideal para tuberías de proceso y servicio que conducen vapor, agua caliente, agua helada, refrigerantes, gases y toda clase de fluidos en que se requiera ahorrar energía.

Diseño de experimento

Se pretende analizar una geometría similar a la de una bomba horizontal, en este caso se usa como modelo una bomba API Tipo OH2, en la Figura 9 se ilustran imágenes de este tipo de bombas:



Figura 9. Imágenes de Bombas API tipo OH2.

Nota:

Centreline-mounted, single-stage overhung pumps shall be designated pump type OH2. They have a single bearing housing to absorb all forces imposed upon the pump shaft and maintain rotor position during operation. The pumps are mounted on a baseplate and are flexibly coupled to their drivers.

(Indicado en la normativa ISO 13709:2009 [10])

En la Figura 10, lo que se muestra sombreado en color amarillo representa la carcasa de la bomba, y es lo que buscamos aislar para proteger al personal cuando sea una aplicación en donde la temperatura exterior de la carcasa se encuentra por arriba de los 60°C, así evitando que el personal tenga contacto directo con alta temperatura y que pueda surgir una lesión por quemadura:

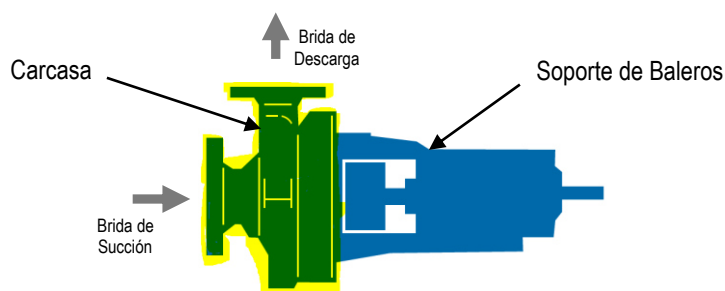


Figura 10. Representación de Aislamiento Térmico en Bomba Centrífuga.

Por lo cual, como primera aproximación, el modelo de la carcasa de la bomba se puede considerar como la geometría de un cilindro, ver Figura 11:



Figura 11. Cilindro.

Calentaremos este cilindro y simularemos una alta temperatura, de hasta 210 °C en la superficie del cilindro. De esta forma probaremos que el aislante térmico de Vibra de Vidrio puede aislar térmicamente de tal forma que se tenga una temperatura exterior inferior a 60 °C.

Creación del modelo físico

Se genera un modelo físico similar a la geometría de una bomba, en este caso un cilindro de cemento con una resistencia eléctrica embebida en su interior:

Materiales que utilizamos para la elaboración del modelo en físico:

Banda Plástica con dimensión de 9 cm de ancho x 110 cm de largo (Ver Figura 12).



Figura 12. Banda Plástica.

Resistencia Eléctrica con una impedancia entre 6.5 a 7.0 ohms. Y aproximadamente con un 0.8 cm en su diámetro en el espiral. (Ver Figura 13 a y b).

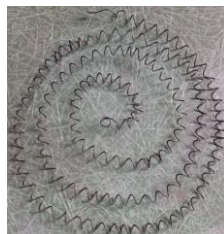


Figura 13 a y b. Resistencia Eléctrica.

Dos Tornillos de 1/4" x 2", cuatro Tuercas y seis Arandelas. (Ver Figura 14).



Figura 14. Tornillo con tuerca y arandela.

Tabla de Madera con dimensiones de 30 cm x 45 cm. (Ver Figura 15).



Figura 15. Tabla de Madera.

Ocho Clavos de acero. (Ver Figura 16).

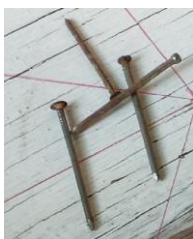


Figura 16. Clavos de acero.

Malla tipo gallinero con aberturas de 1 cm. Se requiere de un tramo de 30 cm de ancho x 60 cm de largo. (Ver Figura 17).



Figura 17. Malla tipo gallinero.

Malla tipo gallinero con aberturas de 2.5 cm. Se requiere de un tramo de 10 cm de ancho x 40 cm de largo. (Ver Figura 18).

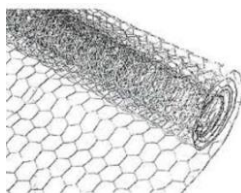


Figura 18. Malla tipo gallinero.

Un Termopar tipo “K”, este tipo de termopar puede tomar mediciones de temperatura de hasta 800°C. (Ver Figura 19).



Figura 19. Termopar tipo “K”.

Cinta tipo canela. (Ver Figura 20).



Figura 20. Cinta tipo canela.

Arena del número 5. (Ver Figura 21).



Figura 21. Arena número 5.

Cemento Gris. (Ver Figura 22).



Figura 22. Cemento Gris.

Agua Potable. (Ver Figura 23).



Figura 23. Agua Potable.

Secuencia para la elaboración del Modelo Físico:

Primero tomamos la banda plástica y con la ayuda de la cinta tipo canela se realiza el diámetro que se maneja en el cilindro, ver Figura 24; en este caso consideraremos un diámetro de 28 cm.



Figura 24. Medidas del cilindro de cemento.

Luego presentamos el círculo en la tabla de madera que nos servirá como base para realizar el vaciado de cemento. Trazamos un par de líneas de acuerdo al diámetro del cilindro para colocar un par de clavos los cuales nos ayudaran a que no se deforme la circunferencia del cilindro, ver Figura 25.



Figura 25. Base de madera.

Tomamos un tramo de malla metálica para presentarla arriba del círculo y así poder marcar el diámetro de los cortes de la malla, vamos a requerir 2 cortes de malla las cuales van a reforzar el vaciado del cemento en cada uno de sus lados, ver Figura 26.



Figura 26. Malla metálica para reforzar el cilindro.

Verificamos con un multímetro que la resistencia eléctrica este en el rango de 6.5 a 7.0 ohms, ver figura 27.



Figura 27. Verificar impedancia de la resistencia eléctrica.

Preparamos la resistencia eléctrica con tornillos en cada uno de sus extremos para que nos sirva como tipo conexiones en el exterior del cemento, ver figura 28.

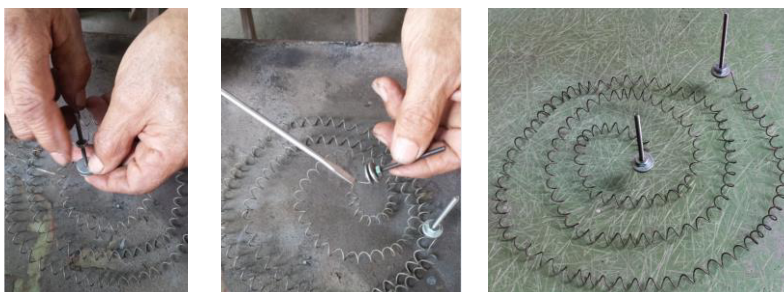


Figura 28. Preparación de la Resistencia Eléctrica.

Realizamos también un corte de malla flexible para reforzar la circunferencia del cilindro, y la resistencia eléctrica se localizara en el centro de esta malla evitando que se tenga contacto una con otro, ver figura 29.

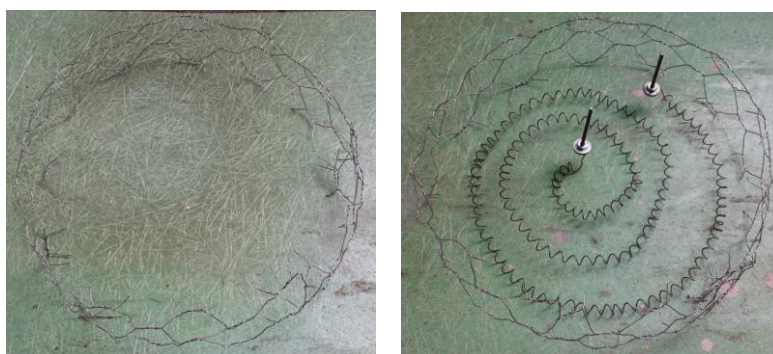


Figura 29. Malla para la circunferencia del cilindro.

Marcamos el centro de la banda plástica la cual nos va a servir de referencia al momento de realizar el vaciado y color en su centro la resistencia eléctrica, ver figura 30.



Figura 30. Marcado en banda plástica.

Se prepara la mezcla de cemento y se empieza a realizar el vaciado de aproximadamente un 1 cm para colocar el primer corte de malla que le dará solidez a la pieza, ver figura 31.



Figura 31. Vaciado del cemento.

Se coloca la malla que le dará rigidez a la circunferencia del círculo, y se empareja el cemento hasta la mitad de la banda plástica, debiendo considerar la línea que se había marcado anteriormente en la banda plástica como referencia, ver figura 32.



Figura 32. Colocación de Malla.

Colocamos la resistencia eléctrica en el centro del círculo, tratando de dejarla lo mejor centrada y evitar cualquier contacto con la malla. Debemos de dejar los tornillos sobresaliendo de la banda plástica por lo menos 2 cm para poder tener espacio de conectarse los cables que alimentaran la resistencia eléctrica, ver figura 33.



Figura 33. Colocación de resistencia eléctrica.

Se continúa realizando el vaciado y se coloca la tercera malla que le dará solidez a la pieza. Ya teniendo colocadas las mallas podemos poner cinta canela en la parte superior de los tornillos para evitar que el cemento complique la entrada de los tornillos, ver figura 34.



Figura 34. Colocación de malla.

El siguiente paso es colocar el Termopar tipo “K”, el cual quedara adherido en el cilindro, se debe colocar lo más posiblemente en la orilla de la pieza para poder obtener la mejor lectura de la pared exterior del cilindro, en este caso lo manejaremos a 1 cm de distancia del exterior del cilindro, y también se debe embeber a la mitad del ancho del cilindro, ver figura 35.



Figura 35. Colocación de termopar tipo “K”.

Por último se sigue realizando el vaciado de cemento hasta dejarlo al nivel de la banda plástica, ver figura 36.



Figura 36. Nivel del vaciado de cemento.

Hay que dejar la pieza en un proceso de secado de por lo menos de una semana, en este proceso se puede exponer la pieza directo al sol por un par de horas al día, y se debe estar remojando la pieza con un poco de agua durante los primeros días para evitar que la pieza se agriete, ya después de este proceso el cilindro fabricado de cemento queda listo. Solamente verificar que la pieza no cuente con humedad, ver figura 37.



Figura 37. Cilindro de cemento.

Ya contando con el modelo en físico, ahora debemos de forrarlo con Aislamiento Térmico de Fibra de Vidrio el cual es sugerido por la normativa de PEMEX, la NRF-034-PEMEX-2011.

Utilizaremos el siguiente material para aislar el modelo en físico:

Aislamiento Térmico de Fibra de Vidrio de 2" (50.8 mm) de espesor. (Ver figura 38).



Figura 38. Aislamiento Térmico de Fibra de Vidrio

*Nota: Esta imagen se muestra al final del documento en tamaño grande.

Malla tipo gallinero con aberturas de 1 cm. Se requiere de un tramo de 100 cm de ancho x 150 cm de largo. (Ver figura 39).

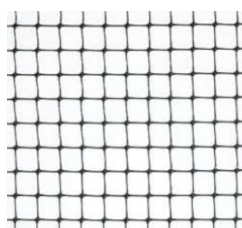


Figura 39. Malla tipo gallinero.

Dos cables tipo eléctrico de calibre 12, cada uno con 1 m de largo. (Ver figura 40).



Figura 40. Cable tipo eléctrico.

Dos Terminales tipo O. (Ver figura 41).



Figura 41. Terminales tipo O.

Dos Terminales de horquilla. (Ver figura 42).



Figura 42. Terminales tipo horquilla.

Dos pliegos de cartón de 50 cm x 50 cm. (Ver figura 43).



Figura 43. Pliego de cartón.

Dos metros de Alambre Galvanizado. (Ver figura 44).



Figura 44. Alambre galvanizado.

Alambre de cobre de 50 cm. (Ver figura 45).



Figura 45. Alambre de cobre.

Secuencia para Aislar el cilindro:

Primero dibujamos en el pliego de cartón el diámetro del cilindro, sin considerar el espesor del aislante. Ya que el aislante en cada uno de las caras del cilindro de cemento serán de acuerdo a su diámetro de 28 cm, ver figura 46.



Figura 46. Diámetro del cilindro.

Presentamos esta dimensión en el aislamiento para realizar el corte de los 2 diámetros del cilindro, ver figura 47.



Figura 47. Corte circular del Aislamiento.

Ahora dibujamos en el otro pliego de cartón el diámetro del cilindro ahora si considerando el espesor del aislante. Y realizamos el corte de los diámetros de la malla de 38.16 cm la cual sujetara el aislamiento de los extremos del cilindro, ver figura 48.



Figura 48. Corte circular de la malla metálica.

Ahora realizamos el corte del aislamiento para la periferia del cilindro, que se cuenta con 19.16 cm de ancho x 104 cm de largo, ver figura 49.



Figura 49. Corte periferia del Aislamiento.

Para colocar el aislamiento en el cilindro vamos a usar un banquito para facilitar el ensamble, en el cual sentaremos primero un lado de la malla junto con su aislamiento, y posteriormente sentamos el cilindro, ver figura 50.



Figura 50. Ensamble del Aislamiento.

Solamente en cada uno de los extremos de los 2 cables se coloca la terminal tipo O, para posteriormente ensamblarse en las terminales de la resistencia eléctrica, ver figura 51.

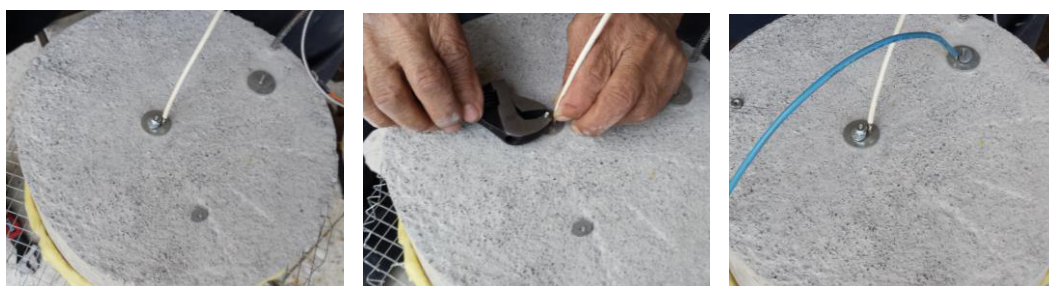


Figura 51. Ensamblajes de cables y terminales.

Posteriormente teniendo instalados los cables de la alimentación eléctrica de la resistencia eléctrica, se procede a ensamblar el aislamiento térmico del lado de la resistencia eléctrica, ver figura 52.



Figura 52. Colocación del aislamiento opuesto.

Se coloca el aislamiento de la periferia del cilindro y se sujeta con 2 cordones de alambre, ver figura 53.



Figura 53. Colocación del aislamiento de la periferia.

Ahora se instala la malla del lado de la alimentación eléctrica de la resistencia eléctrica, ver figura 54.

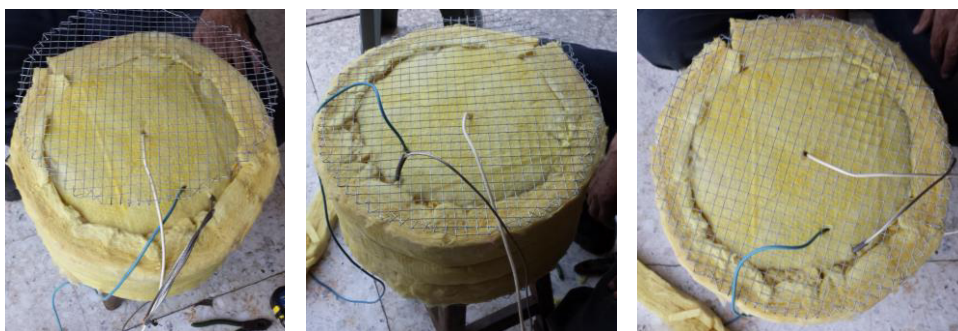


Figura 54. Instalación de la malla circular.

Ya teniendo este ensamble, se procede a realizar el corte de la malla metálica para la periferia del cilindro con una dimensión de 19.16 cm de ancho y con un largo de 140 cm, este largo nos sirve para dejar una parte de la malla traslapada, la cual nos reforzará una pequeña parte de su periferia del cilindro que nos servirá como base para sentarse en el soporte metálico que más adelante se indica en este documento, ver figura 55.



Figura 55. Corte de la malla para periferia del aislamiento.

Se instala esta última pieza de malla metálica la cual se ubica en la periferia del cilindro, ver figura 56.



Figura 56. Instalación de la malla en la periferia.

El agarre de las mallas se realiza por medio del cable de bronce, de esta forma dejamos el cilindro ya armado con su Aislamiento Térmico, ver figura 57.



Figura 57. Sujeción de malla con cable.

Ya al final ponemos las dos terminales de horquilla en los cables de la resistencia eléctrica, ver figura 58.

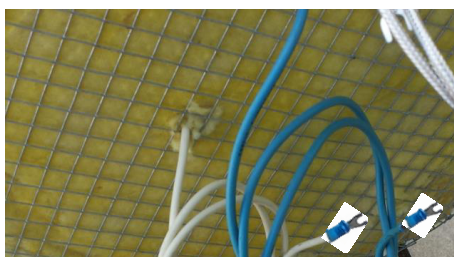


Figura 58. Instalación de terminales tipo horquilla.

Ahora requerimos de una base metálica para poder sentar el cilindro, por lo cual se genera con varilla de acero para poder obtener mayor circulación y flujo de temperatura desde la parte baja del cilindro hacia la parte alta del cilindro, simulando de esta manera el comportamiento en temperatura en la superficie de una bomba tipo OH2, ver figura 59.



Figura 59. Base de varilla para soportar cilindro.

Ya contamos con el modelo en físico, pero requerimos de la alimentación eléctrica para la resistencia eléctrica, por lo cual generaremos una tablilla con el circuito eléctrico necesario para poder llevar acabo la prueba en físico.

Requeriremos de los siguientes materiales para la elaboración del circuito eléctrico:

Un Transformador con entrada de 127V-60Hz y salida de 24V-5A, ver figura 60.



Figura 60. Transformador.

Una Tablilla de conexiones (Placa Fenólica Perforada 7 cm x 13 cm Steren MOD-300), ver figura 61.

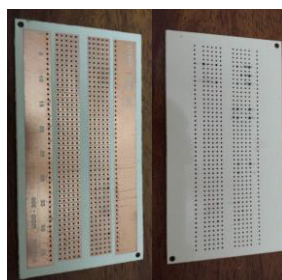


Figura 61. Tablilla de conexiones.

Un cable de calibre 14, con 30 cm de largo. Y dos cables de calibre 18, cada uno con 10 cm de largo, ver figura 62.



Figura 62. Cable calibre 14 y 18.

Tres terminales de conexiones para tablilla, ver figura 63.

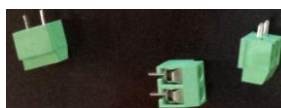


Figura 63. Terminales para tablilla.

Un relevador para cerrar el circuito con 12V DC y dejar pasar 24V, ver figura 64.

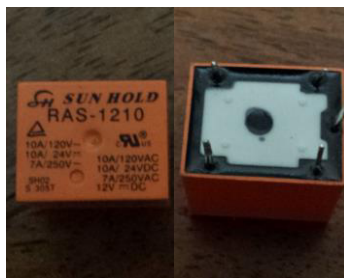


Figura 64. Relevador.

Dos terminales para conexiones, ver figura 65.



Figura 65. Terminales para conexiones.

Seis Terminales de horquilla, ver figura 66.



Figura 66. Terminales de horquilla.

Un cable con clavija para alimentación eléctrica, ver figura 67.



Figura 67. Cable para alimentación eléctrica.

Una tabla de madera de 20 cm x 20 cm, incluyendo 2 pequeñas tiras de madera para montar la Placa Fenólica Perforada, ver figura 68.



Figura 68. Tabla de madera.

Seis pijas de acero, ver figura 69.



Figura 69. Pijas de acero.

Secuencia para armar el circuito eléctrico:

El relevador nos dará la función de abrir y cerrar una de las líneas de salida del transformador a 24V, la cual alimentará a la resistencia eléctrica, la señal de control para hacer esta función es por medio de 12 VDC. El siguiente diagrama indica la operación del relevador, ver figura 70.



Figura 70. Función del Relevador.

Montamos las piezas en la Placa Fenólica Perforada, ver figura 71.

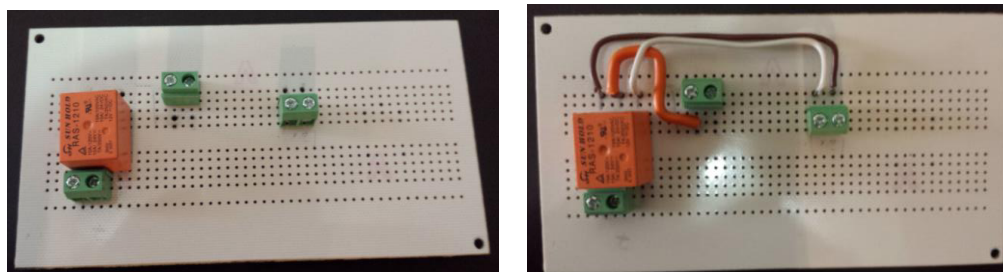


Figura 71. Montaje de piezas.

Ahora soldamos las terminales, ver figura 72.

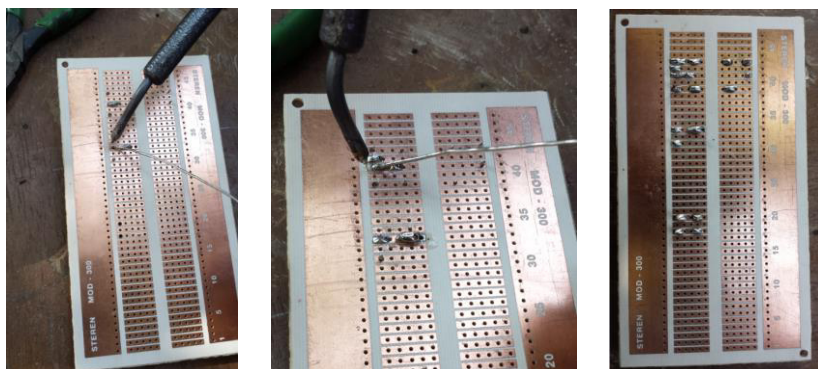


Figura 72. Soldado de terminales.

Ponemos las terminales de horquilla, las cuales se encontrarán en el cable de alimentación, transformador y cable que sale del relevador, ver figura 73.



Figura 73. Horquillas en cable.

Se montan todos los aditamentos a la tabla base.

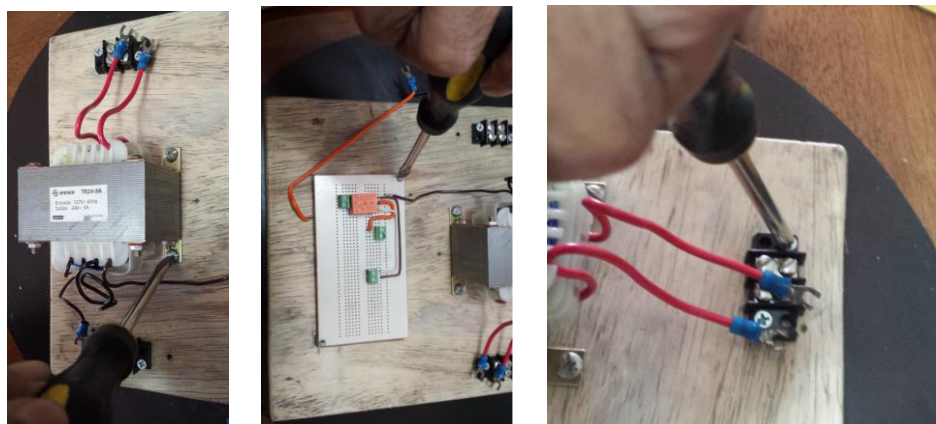


Figura 74. Montaje a tabla base.

Se interconecta los cables del transformador hacia la placa fenólica, ver figura 75.



Figura 75. Interconexión de cables.

Se conectan las terminales en el block de conexiones, ver figura 76.



Figura 76. Soldado de terminales.

Se cancela con cinta de aislar la terminal negativa del transformador la cual puede servir como derivación para que el transformador tenga una salida de 12V, ver figura 77.

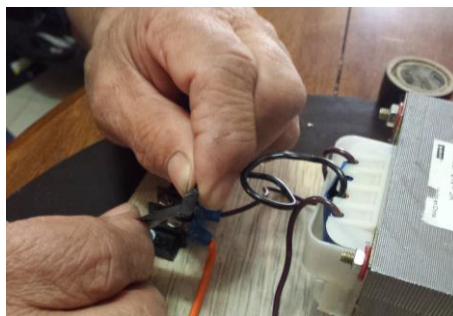


Figura 77. Terminal negativa aislada.

Marcamos en la tabla donde se encuentra cada voltaje, ver figura 78.

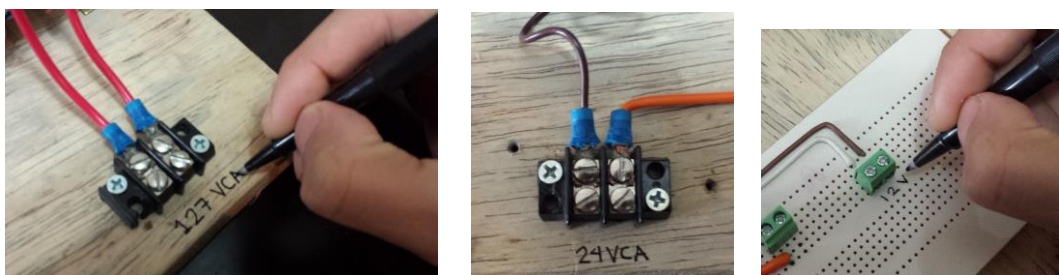


Figura 78. Identificación de voltaje.

El circuito eléctrico queda listo para la alimentación de la resistencia eléctrica, ver figura 79.

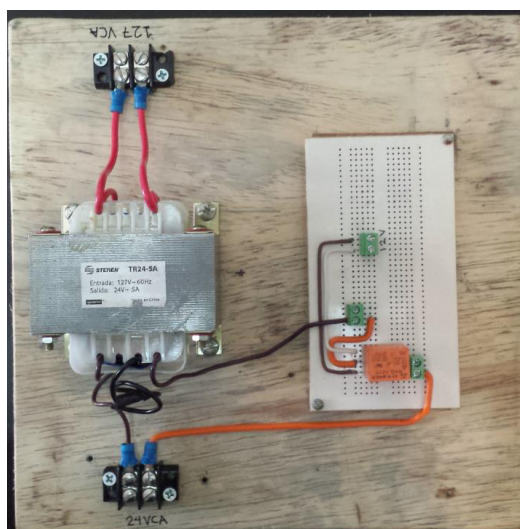


Figura 79. Finalizado del circuito eléctrico.

Capítulo III

Desarrollo de las pruebas

Las pruebas del modelo en físico se realizaron en el LIITE (Laboratorio de Investigación e Innovación en Tecnología Energética) ubicado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ver figura 80.



Figura 80. Laboratorio de Investigación e Innovación en Tecnología Energética.

Para realizar las pruebas del modelo que se desarrolló en físico vamos a requerir tanto de un software como de hardware e instrumentación necesaria. Para el caso del software recurriremos al sistema LABVIEW y de un hardware que este caso un Compact DAQ, ambos de la marca NATIONAL INSTRUMENTS.

Se conoce como software al equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, tales como programas (informáticos) o aplicaciones (informáticas) o soportes lógicos.

El término hardware se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

LabVIEW

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico, recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La penúltima versión es la 2013, con la increíble demostración de poderse usar simultáneamente para el diseño del firmware de un instrumento RF de última generación, a la programación de alto nivel del mismo instrumento, todo ello con código abierto. Y posteriormente la versión 2014 disponible en versión demo para estudiantes y profesional, la versión demo se puede descargar directamente de la página National Instruments.

Utilizaremos un Compact DAQ modelo “NI cDAQ-9174”, ver figura 81.

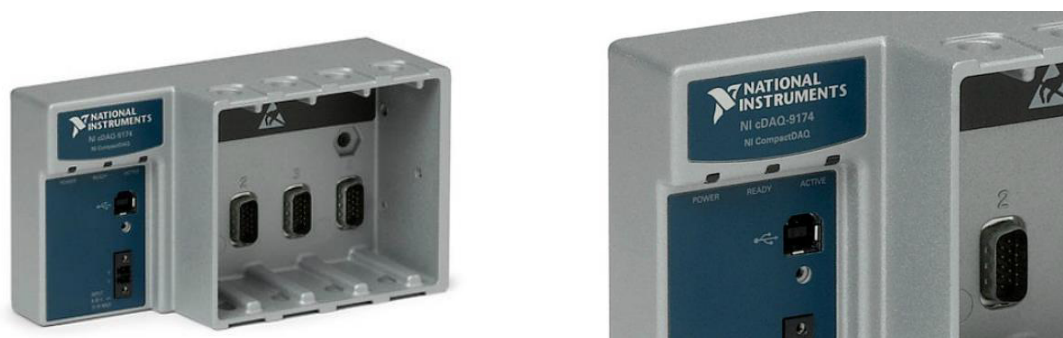


Figura 81. Compact DAQ “Ni cDAQ-9174”.

Este equipo de adquisición de datos cuenta con entradas de módulos disponibles para una variedad de sensores de medición, incluyendo Termopares, RTD's, calibradores de tensión, transductores de presión, acelerómetros, medidores de flujo, etc. Los sistemas NI Compact DAQ combinan mediciones como lo son sensores de tensión, corriente y señales digitales para crear mediciones personalizadas, sistemas de medidas mixtas en las cuales estos datos se llevan a la PC o equipo portátil por medio de un cable USB.

Utilizaremos los siguientes módulos:

- Para Medición de Termopares “NI 9211”, ver figura 82.

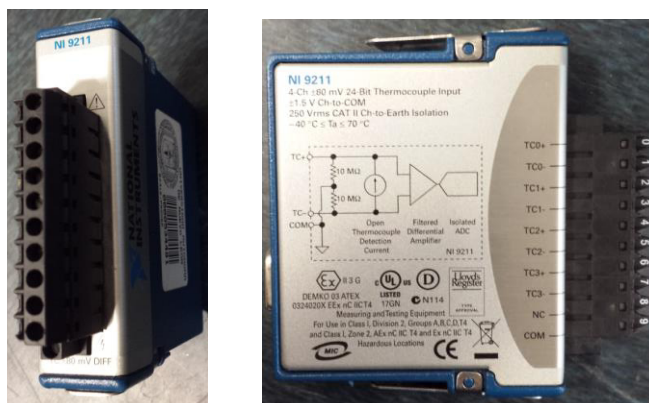


Figura 82. Modulo “NI 9211”.

- Para control de Tensión de la alimentación eléctrica “NI 9472”, ver figura 83.

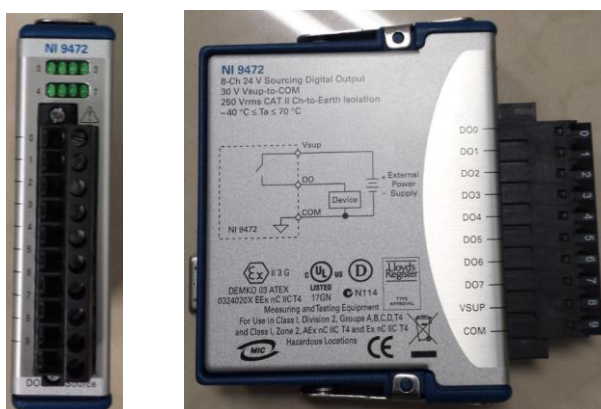


Figura 83. Modulo “NI 9472”.

Diseñamos un sistema dentro del programa LabVIEW para poder llevar el control del desarrollo de las pruebas. Dentro del programa del LabVIEW seleccionamos un trabajo en blanco (blank Project), ver figura 84.

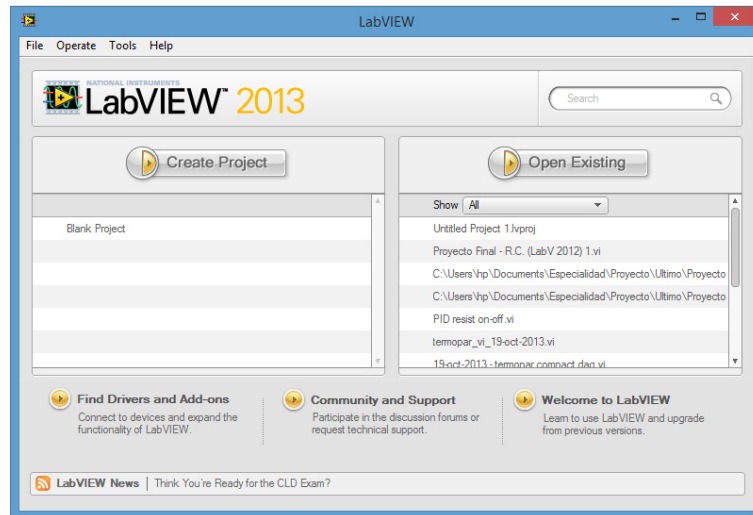


Figura 84. Crear proyecto.

Y dentro de la pestaña “File” creamos un nuevo proyecto (New), ver figura 85.

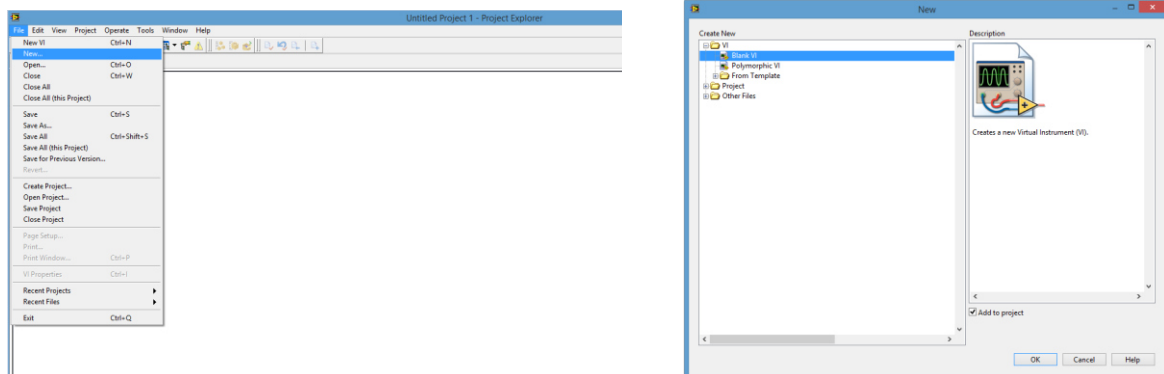


Figura 85. Nuevo proyecto.

Y ya obtenemos nuestro Panel Frontal del LabVIEW, ver figura 86.

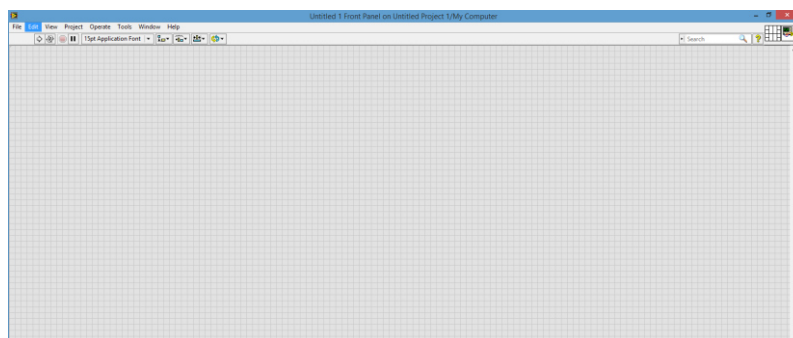


Figura 86. Panel frontal.

Pero trabajaremos en la hoja de “Diagrama de Bloques”, para seleccionar esa hoja entramos a las funciones de Window y seleccionamos “Show Block Diagram”, ver figura 87.

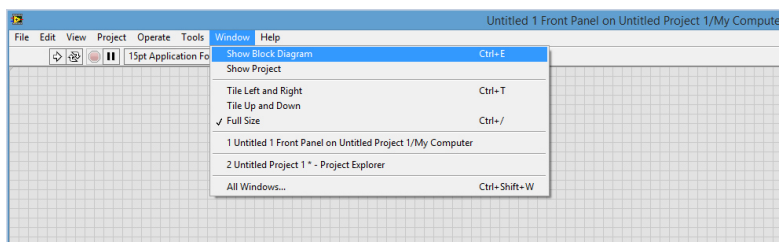


Figura 87. Desplegar Windows.

Nota: Si queremos regresar al Panel Frontal del LabView, solamente volvemos a desplegar las funciones de Window y seleccionamos “Show Front Panel”.

La siguiente es la hoja de Diagrama de Bloques (Block Diagram) en la cual estaremos configurando el programa para realizar las pruebas, ver figura 88.

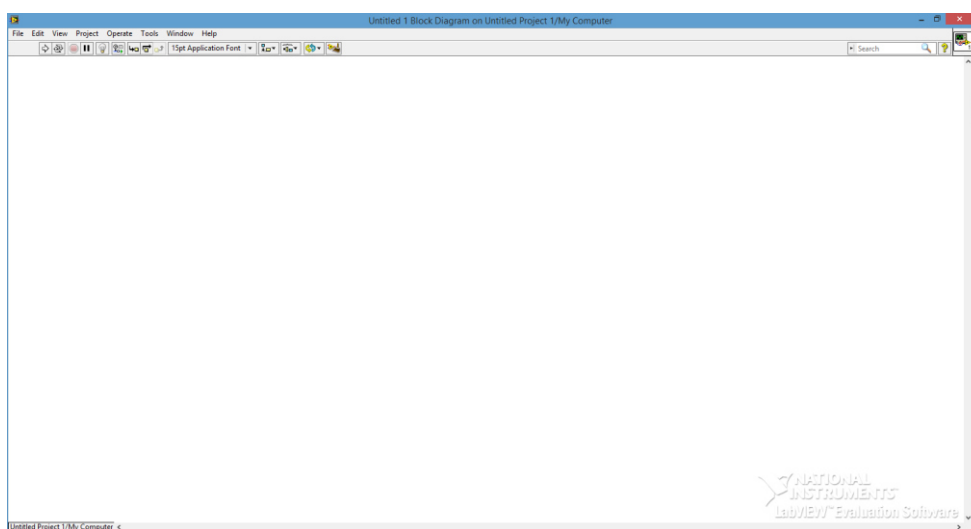


Figura 88. Diagrama de Bloques.

En qué consiste la programación:

- Realizaremos una programación en la cual buscamos mantener la temperatura exterior del cilindro en 205°C para poder verificar como se comportara la temperatura exterior del aislamiento térmico.
- El control para mantener la temperatura exterior del cilindro a 205°C, es por medio del Termopar tipo “K” que se encuentra embebido en el mismo cilindro a 1 cm de su periferia. Esta lectura se llevará a la programación del LabView para mantener la temperatura con una variación de +/- 5°C.
- Al correrse el programa que estamos buscando por el LabView, este mandará una señal por medio del módulo de tensión “NI 9472” (este módulo estará alimentado por medio de una fuente de 12 V) el cual energizará al relevador con los 12 V para cerrar su circuito y así poder dejar pasar los 24 V del transformador que alimentará a la resistencia eléctrica. De esta forma la resistencia eléctrica comenzará a generar calor al cilindro de concreto con la finalidad de llegar a la temperatura que buscamos en el exterior del cilindro (de 205 a 210 °C).
- Por medio del Termopar tipo “K” cual estará conectado al módulo de medición de termopares “NI 9211” el cual llevará su lectura de temperatura al programa del LabView, con la finalidad de conocer la temperatura exterior del concreto y así podremos realizar una programación para controlar la alimentación de la resistencia eléctrica, ya que este termopar cuando obtengamos una lectura por arriba de los 205 °C el programa del LabView deberá mandar una señal al módulo de tensión “NI 9472” para cortar el suministro de los 12 V y de esta forma abrirá el circuito del relevador para interrumpir el suministro de energía de los 24 V hacia la resistencia eléctrica.
- El Termopar tipo “T” que se localizará en el exterior del aislamiento térmico también estará conectado al módulo de medición de termopares “NI 9211”, el cual llevará su lectura de temperatura al programa del LabView con la finalidad de verificar que temperatura obtenemos en la superficie del aislante térmico, ya que esta es la temperatura final que estamos buscando en la investigación de este proyecto.

Comenzaremos con la programación desde la hoja de Diagrama de Bloques (Block Diagram).

Nota: Se anexarán ilustraciones con una breve descripción de cada función, esto vendrá indicado dentro del cuadro “Context Help”.

Empezamos haciendo clic con en el botón derecho del mouse para desplegar las funciones del LabView.
Y posteriormente desplegamos las funciones de las estructuras “Structures” que cuenta el programa, ver figura 89.

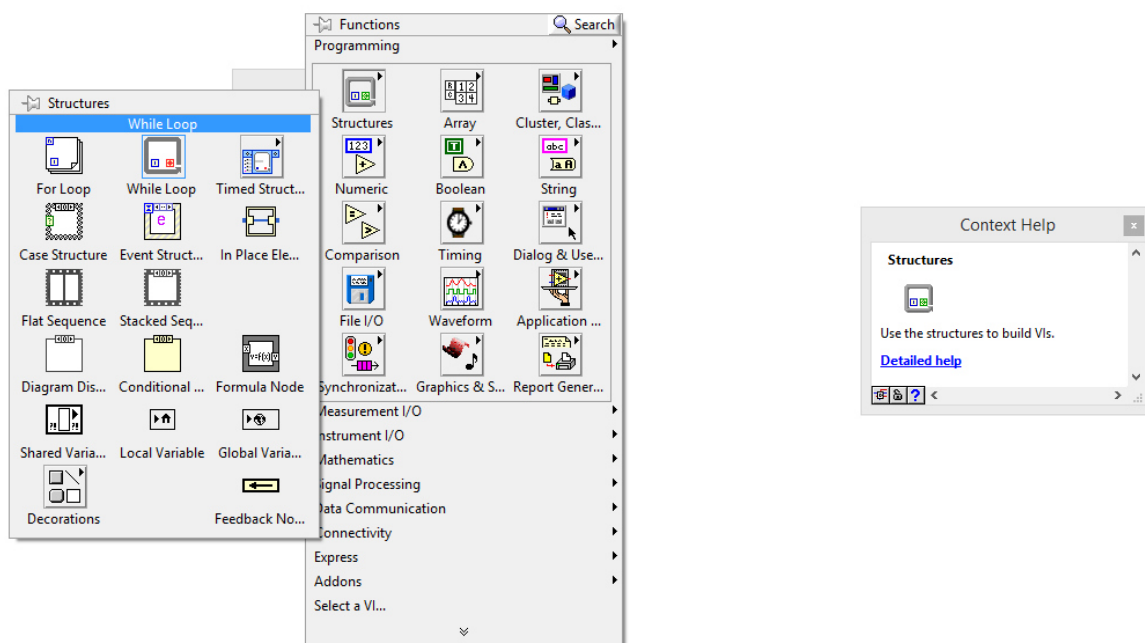


Figura 89. Estructuras y Funciones.

Desarrollaremos el programa por medio de un “While Loop”, ver figura 90.

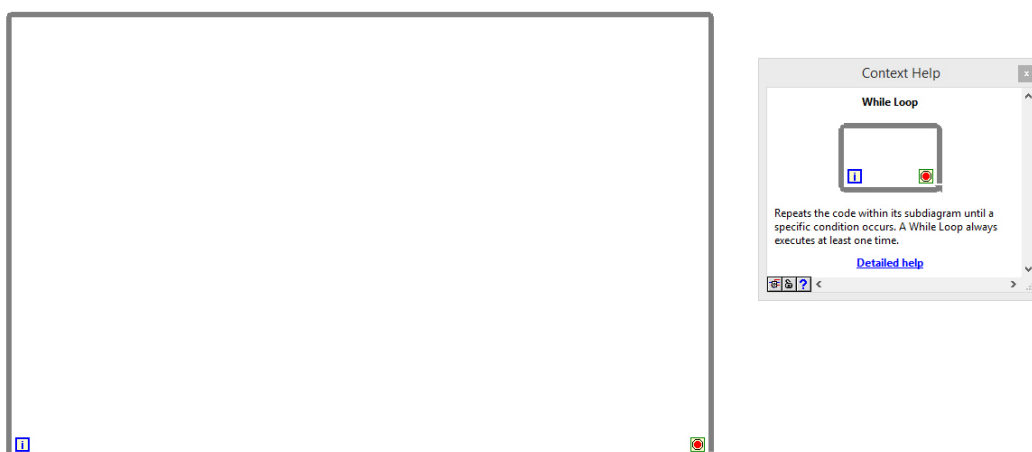


Figura 90. Crear un “While Loop”.

Incluimos los primeros criterios numéricos respecto a la comparación de la temperatura, ver figura 91.

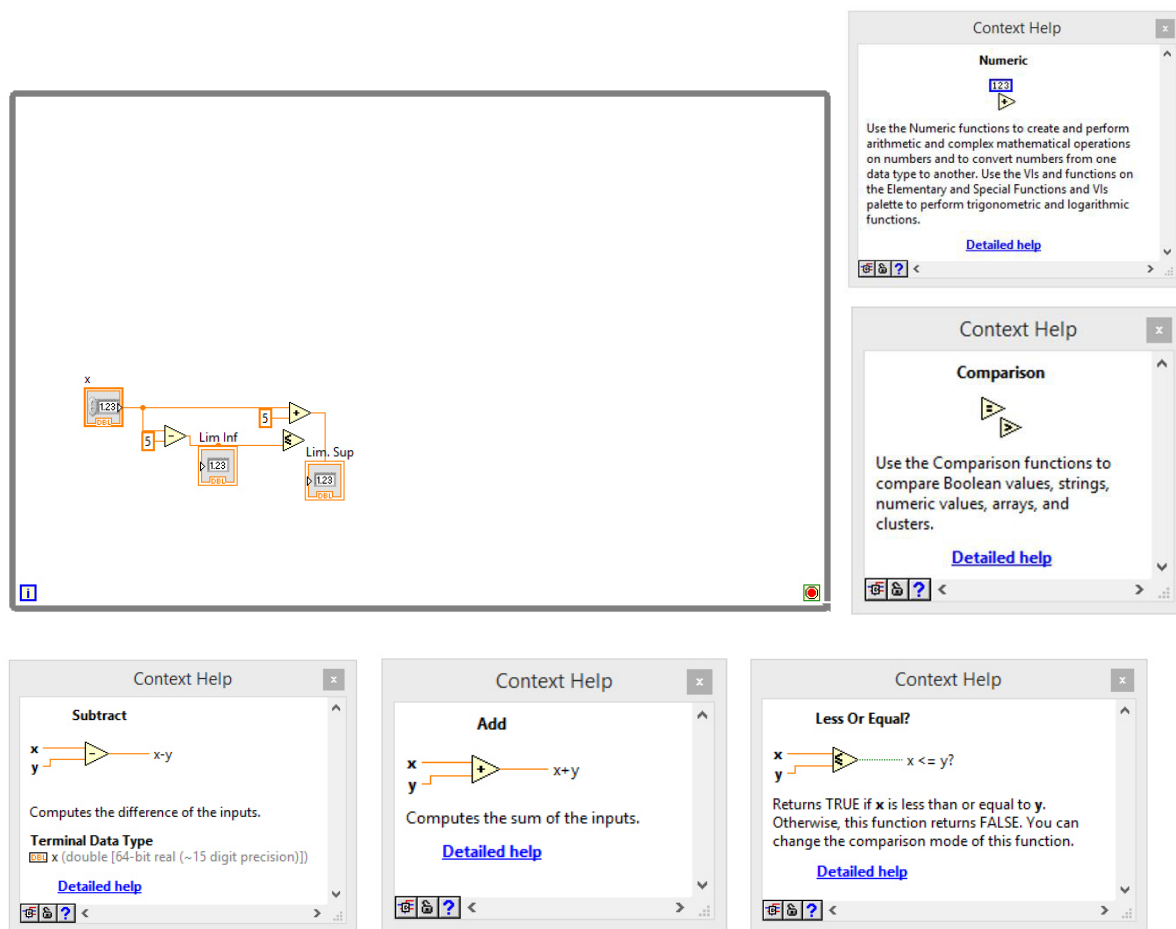


Figura 91. Función de Comparación.

Ahora incluimos un “Case Structure” para definir el valor de la temperatura como Falso o Verdadero, esto de acuerdo al rango de temperatura que se va a estar programando, esta función es la que dará la señal de encender o apagar la resistencia eléctrica.

La siguiente figura 92 muestra la programación cuando se encuentra en Falso.

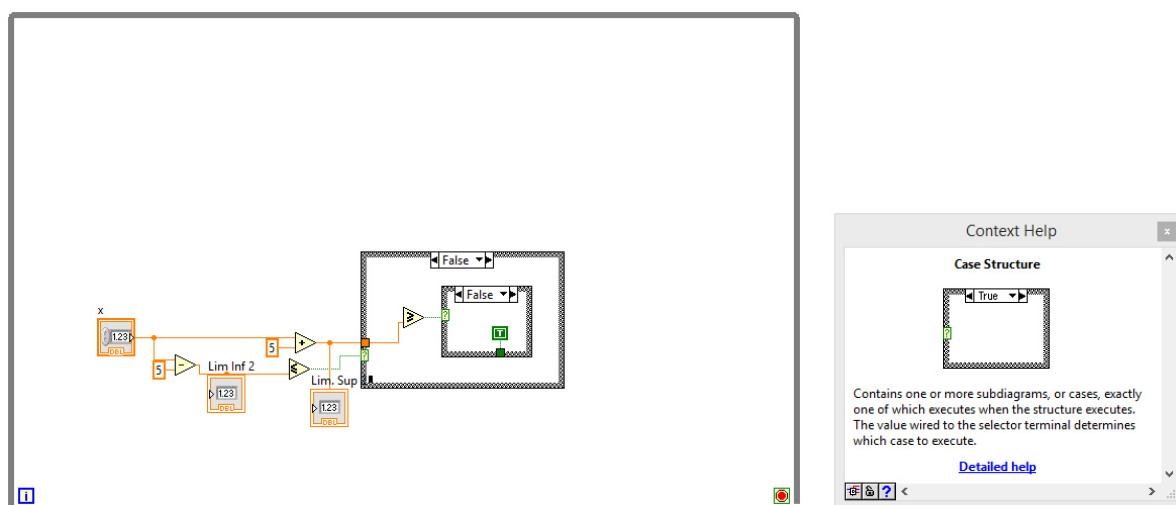


Figura 92. Crear un “Case Structure”.

La siguiente figura 93 muestra la programación cuando se encuentra en Verdadero.

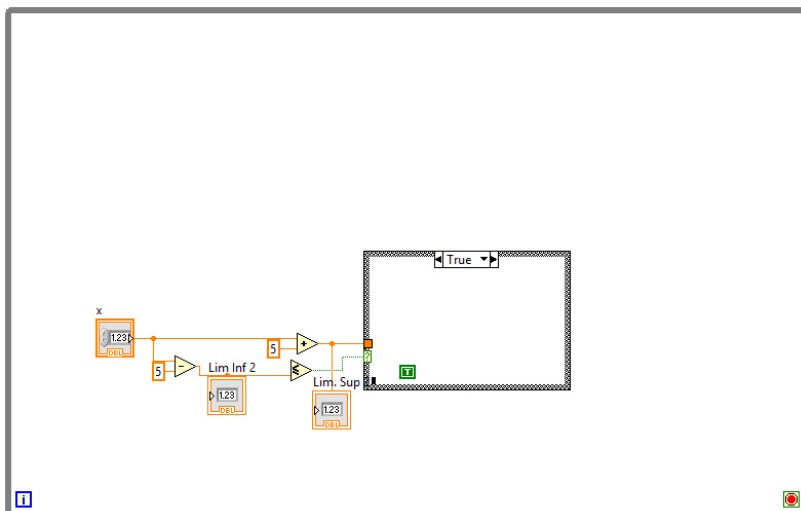


Figura 93. Pantalla en “Verdadero”.

Integramos el comando “Insert Into Array” y se une al extremo del While Loop con un Shift Register. También se integra un “Index Array” y un “Waveform Graph” para graficar los valores de los Termopares los cuales se mostrarán en el Panel Frontal del LabView, ver figura 94.

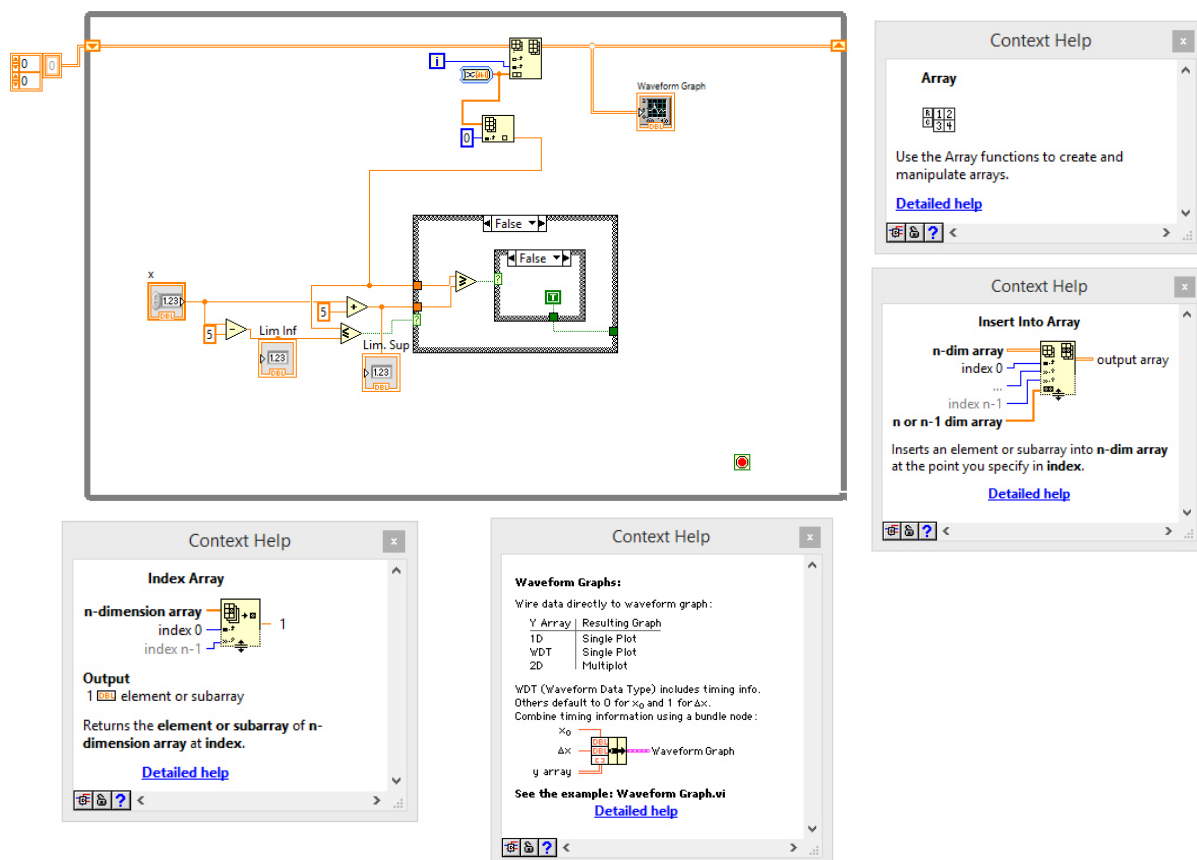


Figura 94. Funciones del “Array”.

Ahora integramos el indicador para saber cuándo el programa está en operación, también se integra el Stop cuando se desee finalizar la corrida, e incluimos el reloj “Wait (ms)” que tomará las lecturas de los termopares en milisegundos, por lo cual se introduce que las lecturas sean cada 60,000 milisegundos lo cual es igual a 1 minuto, ver figura 95.

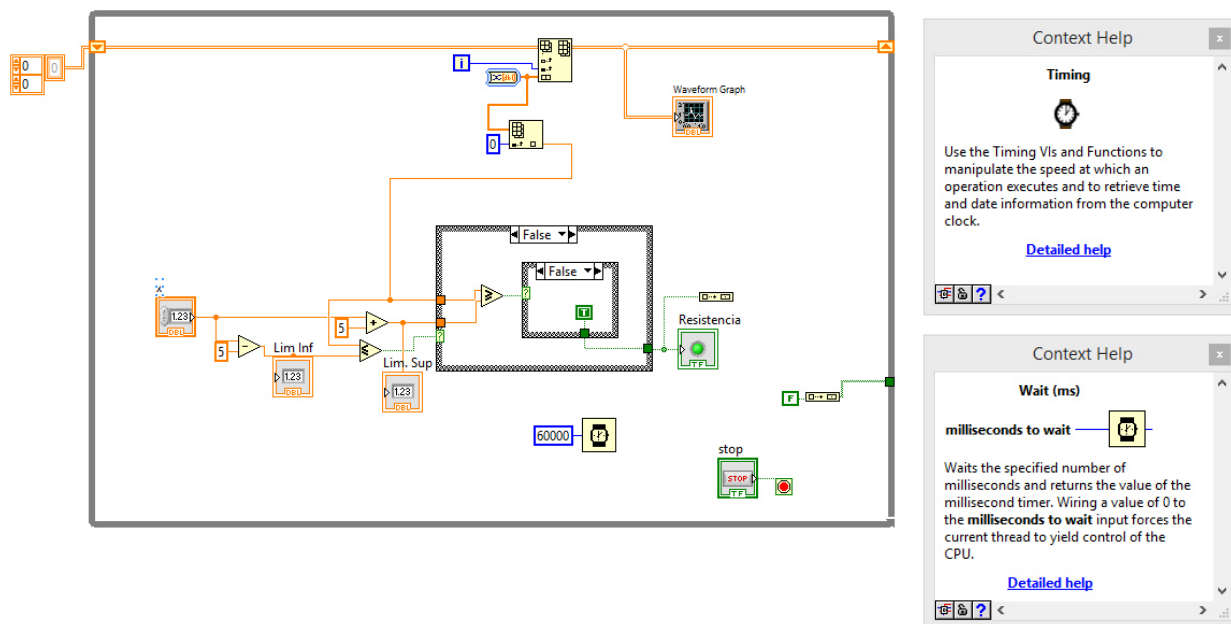


Figura 95. Indicador.

Por últimos el LabView debe detectar que el Compact DAQ “NI cDAQ-9174” esté conectado a la PC o equipo portátil, para poder dar de alta los Termopares del módulo “NI 9211” y el control de Tensión eléctrica del módulo “NI 9472”, ver figura 96.

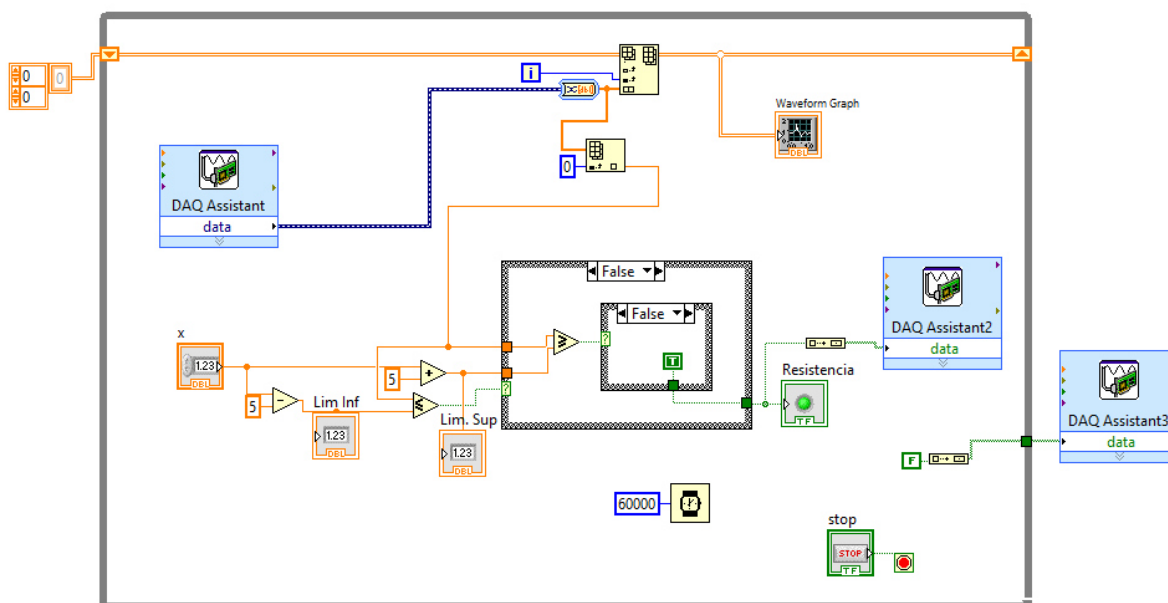


Figura 96. Detectar el equipo.

El Panel Frontal del LabView queda como se muestra en la Figura 97, en la cual desde esta ventana se arrancará y detendrá el programa, y nos generará la gráfica obteniendo los datos de la prueba.

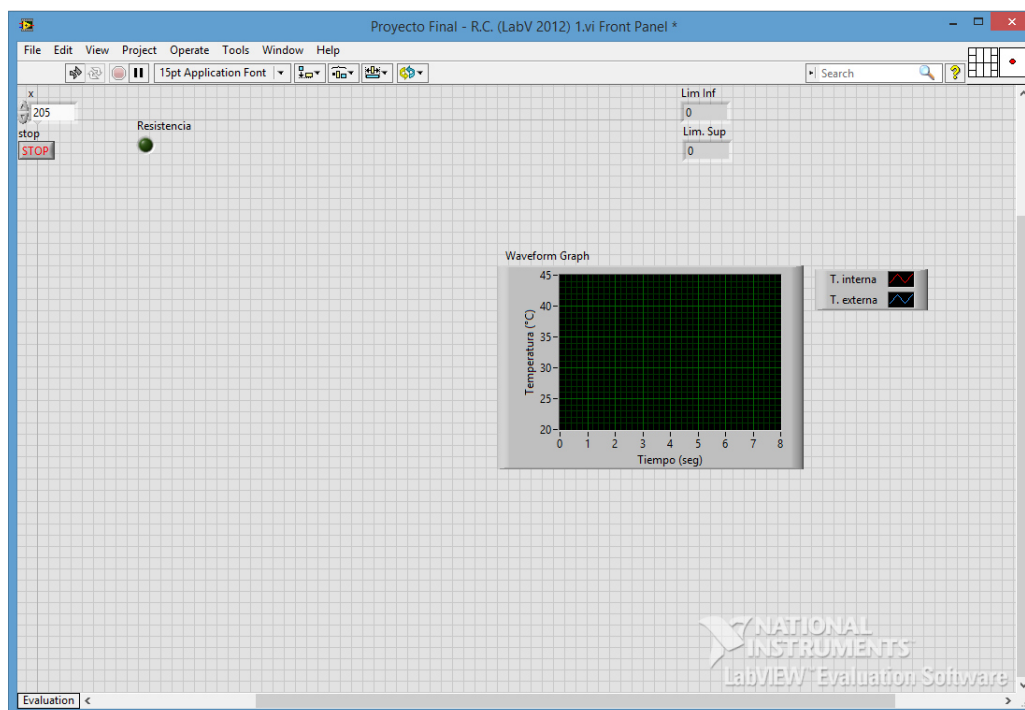


Figura 97. Panel Frontal.

Ya teniendo lista la programación en el LABView, procedemos a preparar el cilindro para la prueba. Primero instalamos el Termopar tipo “T” en la superficie del Aislamiento Térmico, ver figura 98.

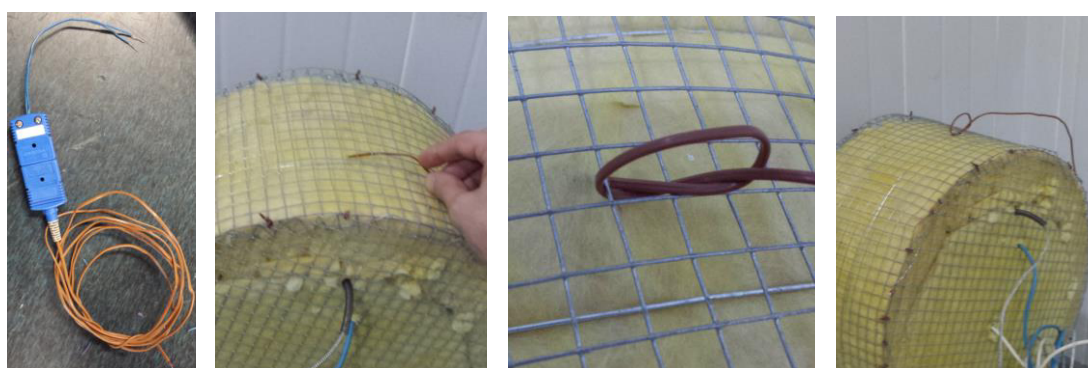


Figura 98. Preparación para la prueba.

Ahora conectamos los Termopares tipo “T” y “K” al Módulo “NI 9211”, se debe conectar correctamente la polaridad del cable (positivo y negativo) en cada entrada del modulo, ver figura 99.

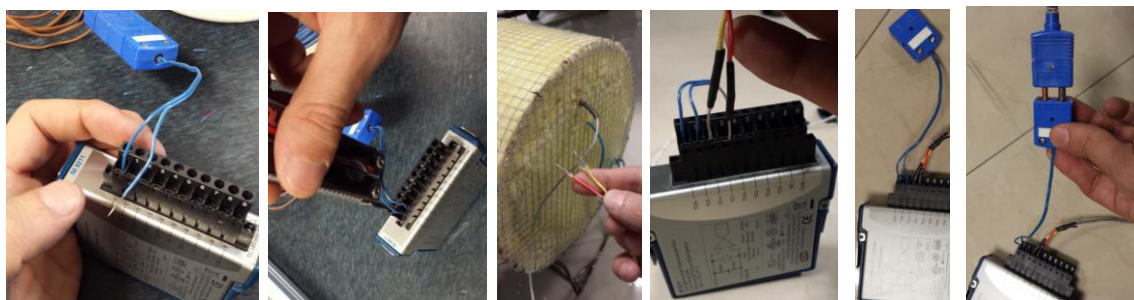


Figura 99. Conexión de Termopares.

Preparamos la fuente de 12 VDC la cual alimentará al módulo de Tensión eléctrica “NI 9472”. Estos cables de alimentación los identificaremos con cable naranja (+) y cable naranja/blanco (-), ver figura 100.



Figura 100. Fuente de 12 VDC.

Ahora conectamos estos cables naranjas a la alimentación del módulo de Tensión eléctrica “NI 9472”, y llevamos la salida de este módulo con cable color verde (+) y cable verde/blanco (-) hacia el conector de entrada de alimentación del relevador, ver figura 101.

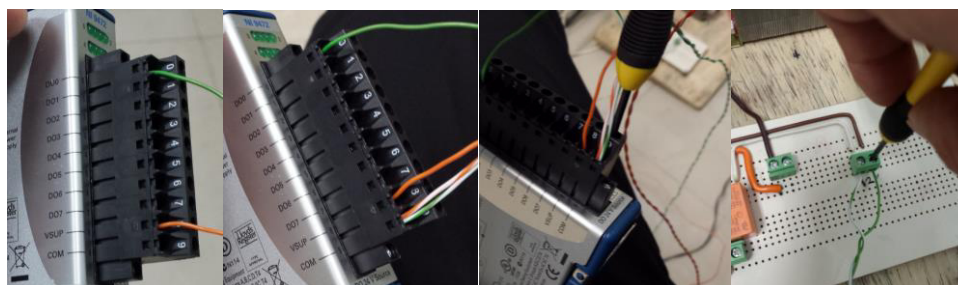


Figura 101. Alimentación del módulo.

Montamos los módulos al Compact.DAQ “NI cDAQ-9174”, ver figura 102.



Figura 102. Montar los módulos.

Verificamos de nueva cuenta la impedancia de la resistencia eléctrica, obteniendo 6.7 ohms, ver figura 103.

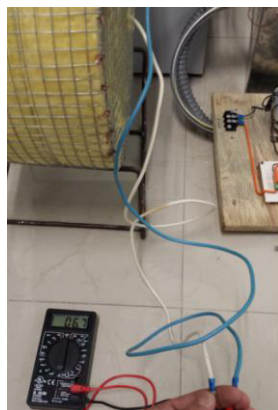


Figura 103. Verificar la resistencia eléctrica.

Conectamos la resistencia eléctrica a la tabla de alimentación de 24 V, ver figura 104.

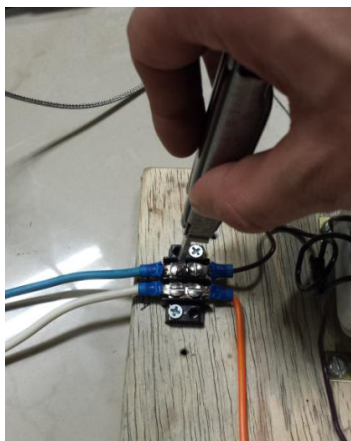


Figura 104. Conexión de Resistencia Eléctrica.

Alimentamos al Compact DAQ “NI cDAQ-9174” con la clavija regulada de 110 V para mantenerlo encendido, ver figura 105.



Figura 105. Alimentación del Compact DAQ.

El Transformador y la fuente de 12 V los alimentamos con la clavija no regulada de 127 a 131 V, ver figura 106.



Figura 106. Conexión a clavija eléctrica.

Verificamos el voltaje de entrada de la clavija no regulada que llega a la alimentación del transformador, se tiene una lectura de 131.7 V, ver figura 107.

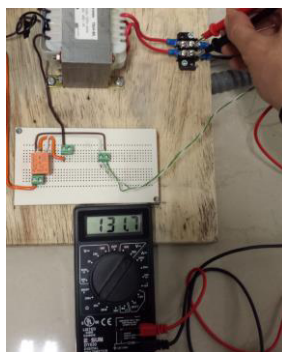


Figura 107. Voltaje de entrada al transformador.

Para verificar el voltaje de la alimentación del relevador, mandamos la señal de encendido al módulo “NI 9472” desde el LabView, y realizamos la siguiente lectura de 17.57 V, ver figura 108.

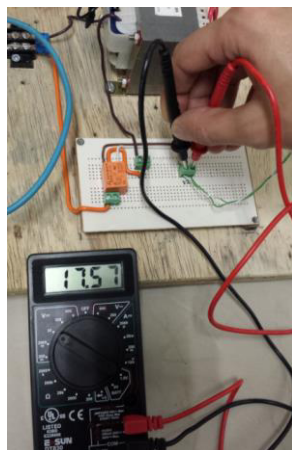


Figura 108. Voltaje de entrada al relevador.

Teniendo encendido el relevador verificamos el voltaje de la salida del transformador que alimentará a la resistencia eléctrica, se tiene una lectura de 23.9 V, ver figura 109.

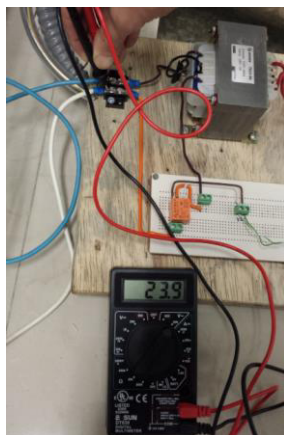


Figura 109. Voltaje de salida del transformador.

Montamos el equipo en un lugar seguro para evitar cualquier accidente, y señalizamos que el equipo se encuentra energizado, ver figura 110.

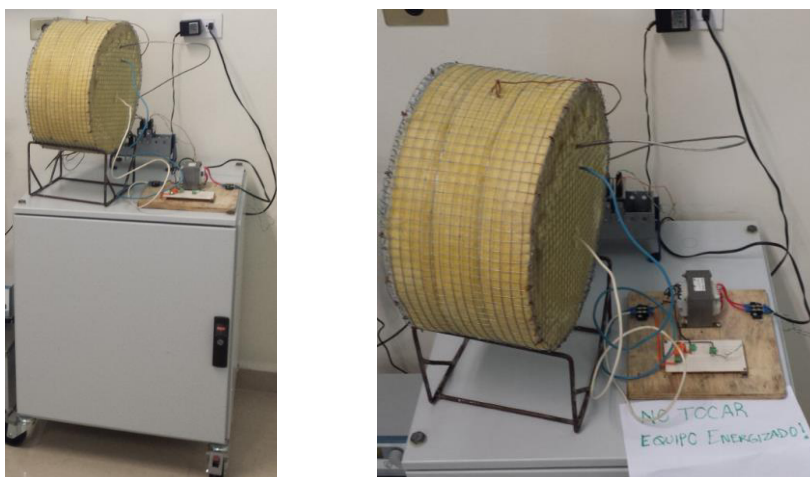


Figura 110. Equipo energizado.

Ya teniendo verificado los voltajes y el equipo en un lugar seguro conectamos el Compact DAQ “NI cDAQ-9174” por medio de su USB hacia la PC o equipo portátil, y ya de esta manera el equipo está listo para iniciar las pruebas, ver figura 111.



Figura 111. Equipo listo para iniciar pruebas.

Análisis de resultados preliminares

Realizamos la primera corrida y obtenemos los resultados mostrados en la figura 112. La línea roja que se muestra en la gráfica corresponde a la temperatura de la superficie del cemento. La línea azul que se muestra en la gráfica corresponde a la temperatura de la superficie del aislamiento térmico.

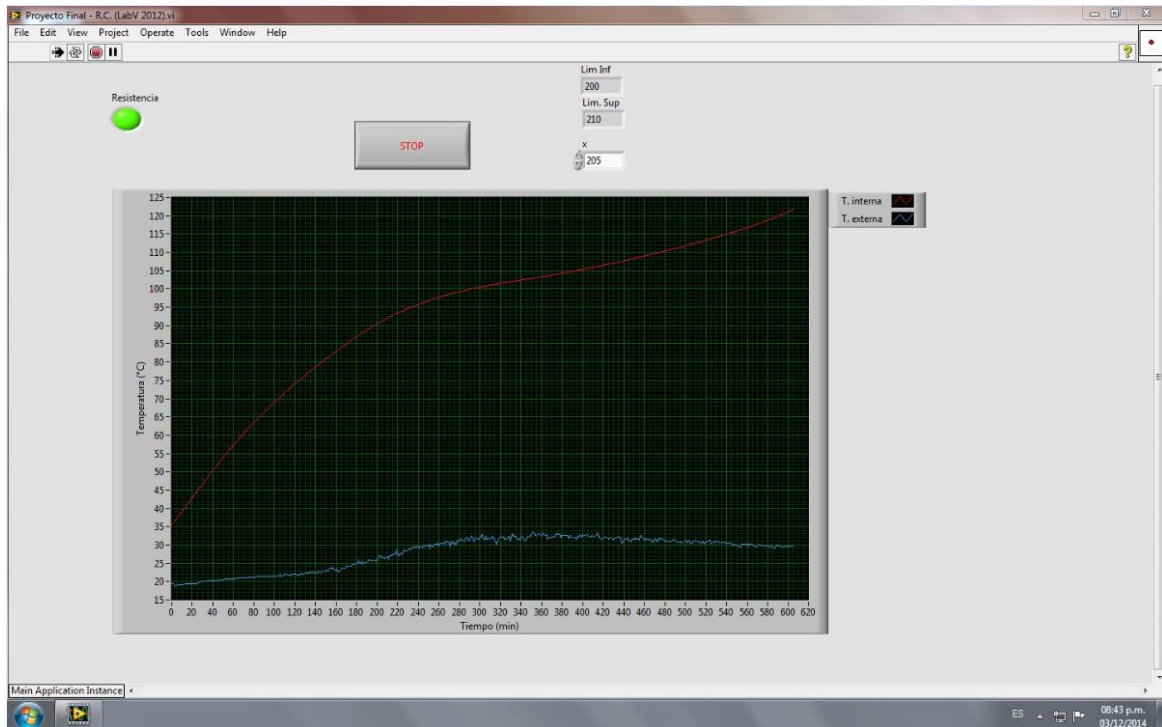


Figura 112. Pruebas preliminares.

De la gráfica final obtenida por el LabView podemos obtener sus valores y enviarlos a una tabla de Excel, solamente nos posicionamos en la gráfica del LabView y damos clic en el botón derecho y seleccionamos mandar datos a tabla de Excel, de esta forma podemos graficar desde Excel los resultados finales, ver figura 113:

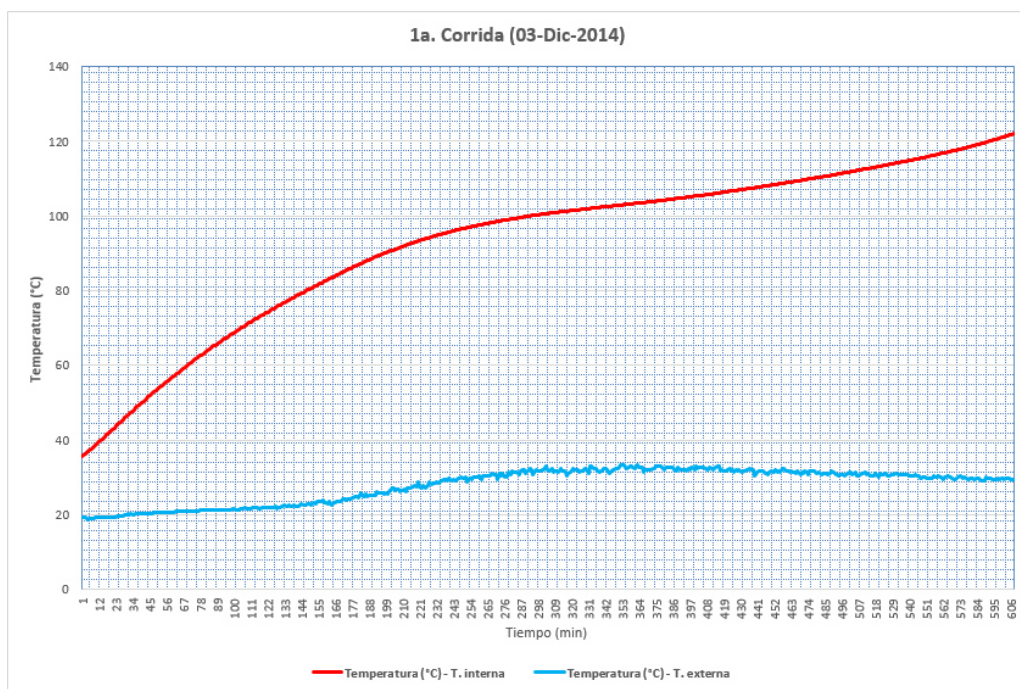


Figura 113. Grafica en Excel.

Se incluye la tabla de resultados obtenidos en esta 1ª Corrida (Ver Anexo R-1).

En esta 1ª Corrida se llevó la prueba por 607 min (10 hr con 7 min) en donde se llegó alcanzar una Temperatura máxima en la superficie del cemento de 122 °C y al final de esta prueba la temperatura de la superficie del aislamiento térmico llego a 29.41 °C. Pero establecemos como resultado más crítico la temperatura más alta que se haya alcanzado en la superficie del Aislamiento Térmico, la cual sería en el tiempo indicado en la siguiente tabla 3:

Tiempo:	352 min (5 hr con 52 min).
Temperatura de la superficie del cemento:	102.95 °C
Temperatura de la superficie del aislamiento térmico:	33.47 °C

Tabla 3. Resultados de la primera corrida.

Nota: Ya que no se tomó la temperatura del ambiente desde el inicio, se tuvo que tomar este valor al final de la prueba recurriendo a un Termopar tipo “T” adicional a los que se encuentran instalados en el cilindro, el cual tomó un valor de 20 °C.

Por lo anterior, esta 1ª Corrida es preliminar, ya que no contamos con los datos completos del análisis, esto debido a quedado pendiente la lectura de la temperatura ambiente y poderse incluir en la misma gráfica.

En esta primera corrida podemos observar que en la siguiente figura 114 el modelo libero un poco de humedad que pudo haber contenido el cemento o el aislamiento térmico.



Figura 114. Humedad en el cilindro.

Ampliación de resultados

Para realizar una ampliación en los resultados, integramos adicionalmente 2 Termopares tipo “T” para tomar la lectura de la temperatura ambiente del lugar donde se están realizando las pruebas, es por lo cual colocamos un termopar en cada uno de los lados del modelo en físico, ver figura 115.

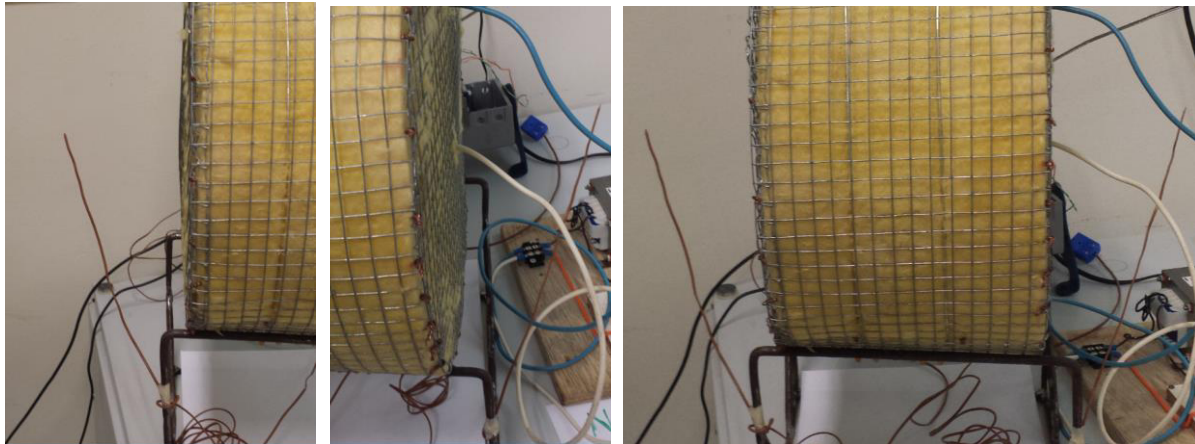


Figura 115. Termopares tipo “T”.

Se conectan los Termopares tipo “T” en el Modulo “NI 9211” y se dan de alta en el LabView, ver figura 116.

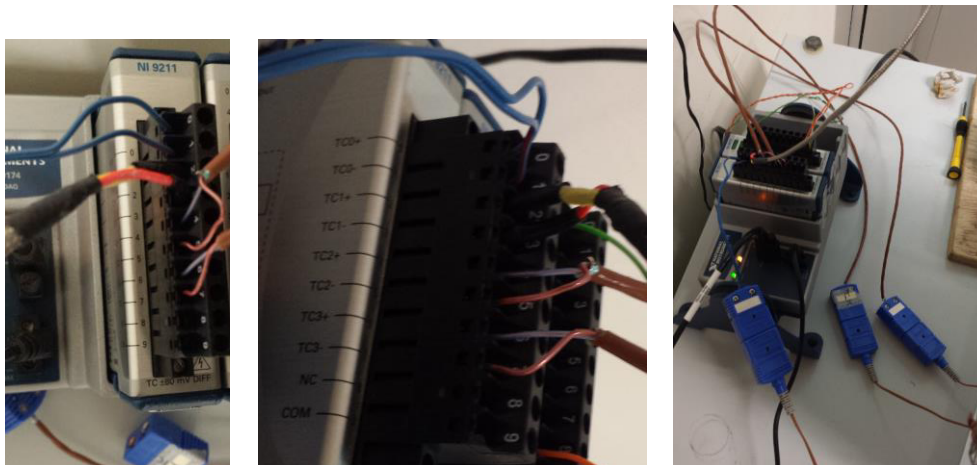


Figura 116. Conexión de Termopares tipo “T”.

La figura 117 representa el Panel Frontal del LabView ya incluyendo los 2 Termopares “T” que se dieron de alta.

Ahora la identificación de la lectura de los termopares es de la siguiente manera:

- La línea roja que se muestra en la gráfica corresponde a la temperatura de la superficie del cemento.
- La línea naranja que se muestra en la gráfica corresponde a la temperatura de la superficie del aislamiento térmico.
- La línea verde que se muestra en la gráfica corresponde a la temperatura ambiente del lado donde se ubica la resistencia eléctrica.
- La línea azul que se muestra en la gráfica corresponde a la temperatura ambiente del lado libre del cilindro.

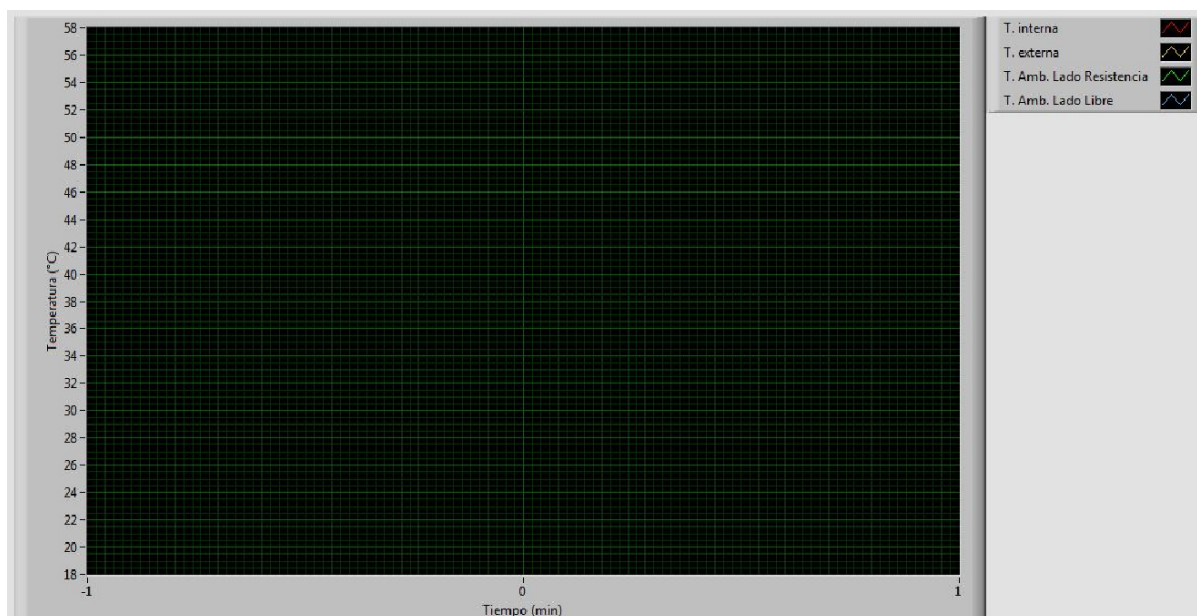


Figura 117. Panel frontal incluyendo Termopares tipo “T”.

Ahora si realizamos la segunda corrida de prueba, obteniendo los siguientes resultados, ver figura 118.

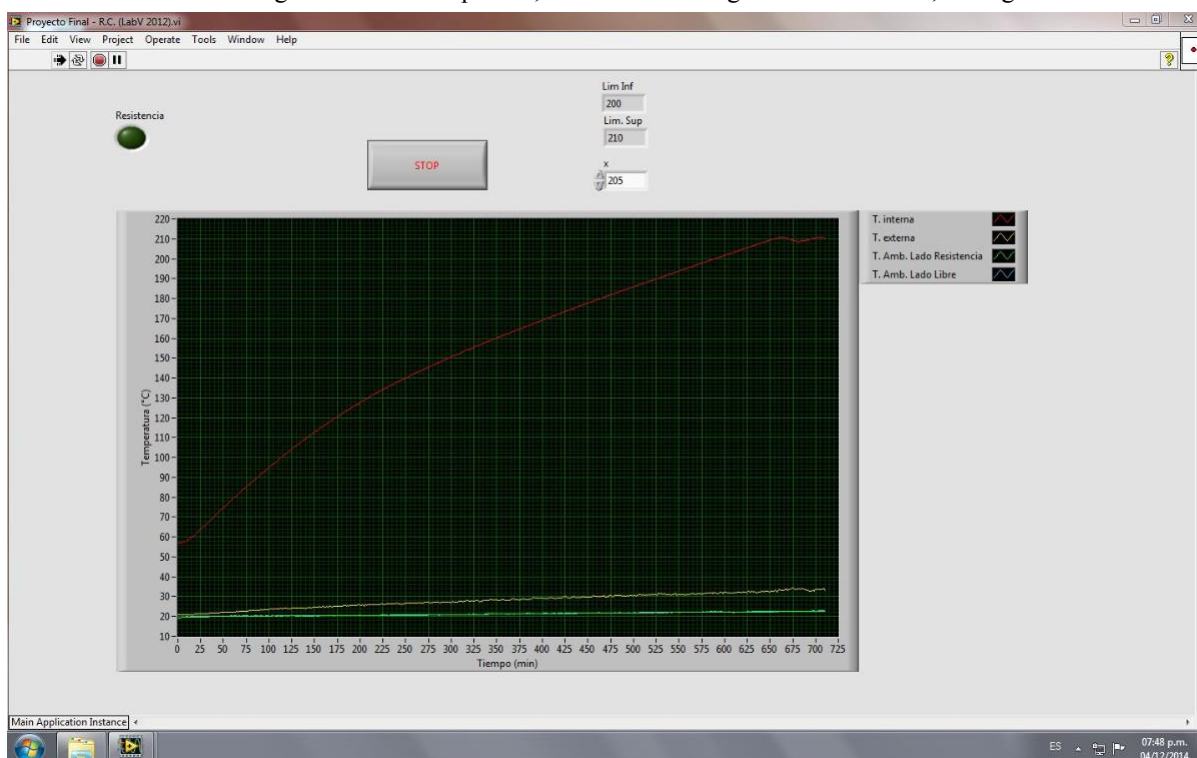


Figura 118. Segunda corrida.

Se grafica desde Excel la 2ª Corrida, ver figura 119:

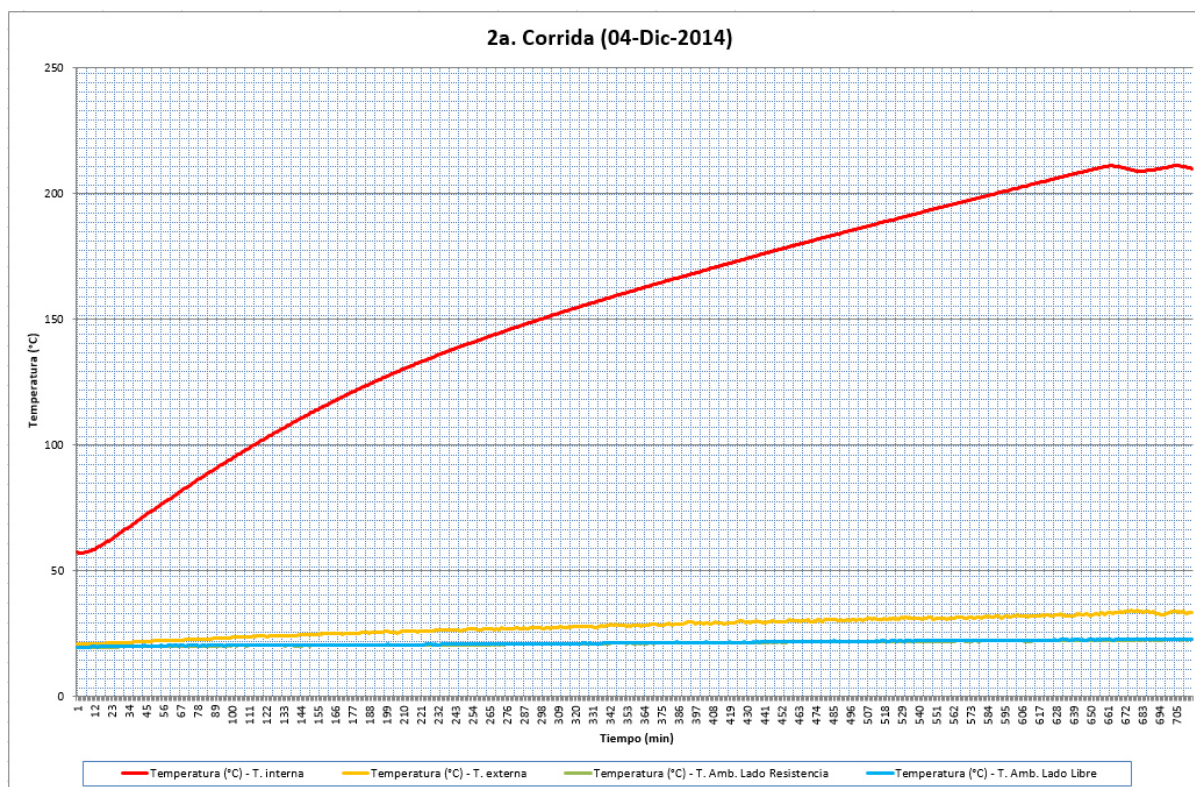


Figura 119. Grafica de la segunda corrida.

Se incluye la tabla de resultados obtenidos en esta 2ª Corrida (Ver Anexo R-2).

En esta 2ª Corrida se llevó la prueba por 714 min (11 hr con 54 min) en donde se llegó a alcanzar una Temperatura máxima en la superficie del cemento de 210.82 °C y al final de esta prueba la temperatura de la superficie del aislamiento térmico llegó a 33.41 °C. Pero establecemos como resultado más crítico la temperatura más alta que se haya alcanzado en la superficie del Aislamiento Térmico, la cual sería en el tiempo indicado en la siguiente tabla 4:

Tiempo:	675 min (11 hr con 15 min).
Temperatura de la superficie del cemento:	209.26 °C
Temperatura de la superficie del aislamiento térmico:	34.33 °C
Temperatura Ambiente lado resistencia eléctrica:	22.55 °C
Temperatura Ambiente lado libre:	22.71 °C

Tabla 4. Resultados de la segunda corrida.

Y como se podrá observar la temperatura de inicio de la superficie del cilindro de cemento comenzó con una temperatura mayor en comparación a la temperatura ambiente, ya que el calor se conservó de la prueba del día anterior (Aprox. 11 horas que quedo en reposo), y nos ayudó en arrancar el equipo desde una temperatura mayor

(a 57.28 °C).

Realizamos la tercera corrida de prueba, obteniendo los siguientes resultados, ver figura 120.

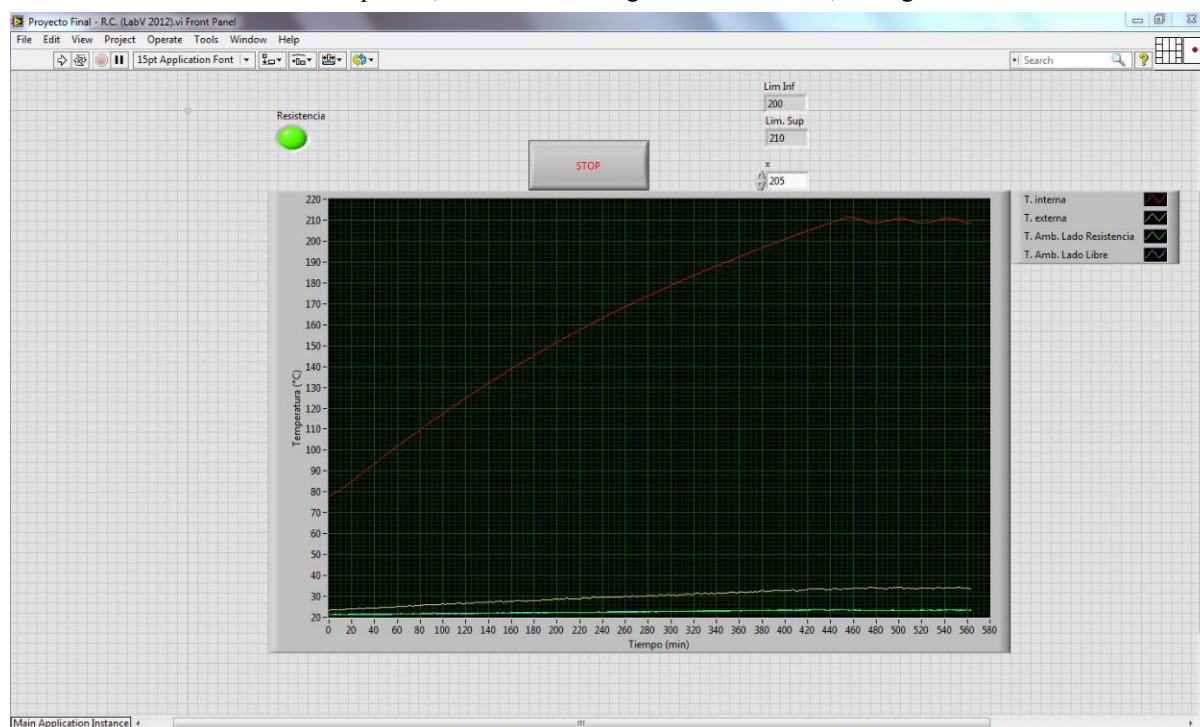


Figura 120. Tercera corrida.

Se grafica desde Excel la 3ª Corrida, ver figura 121:

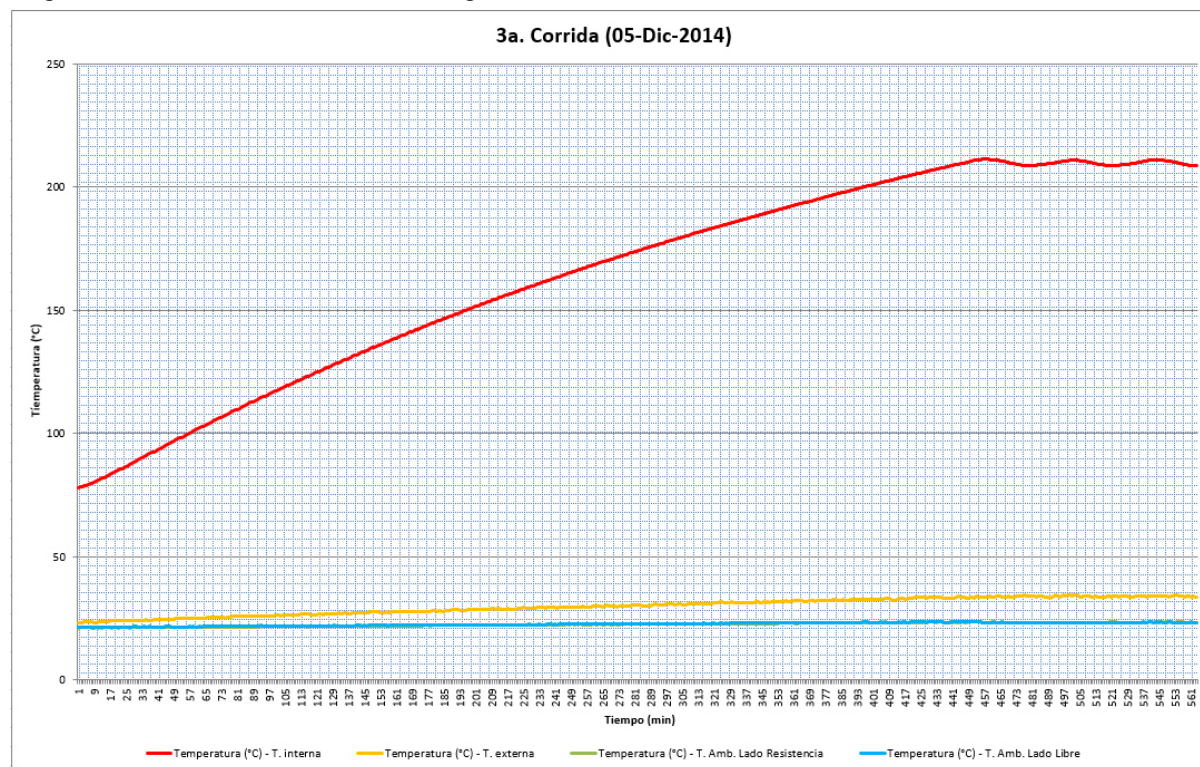


Figura 121. Grafica de la tercera corrida.

Se incluye la tabla de resultados obtenidos en esta 3ª Corrida (Ver Anexo R-3).

En esta 3ª Corrida se llevó la prueba por 563 min (9 hr con 23 min) en donde se llegó a alcanzar una Temperatura máxima en la superficie del cemento de 211.19 °C y al final de esta prueba la temperatura de la superficie del aislamiento térmico llegó a 33.72 °C. Pero establecemos como resultado más crítico la temperatura más alta que se haya alcanzado en la superficie del Aislamiento Térmico, la cual sería en el tiempo indicado en la siguiente tabla 5:

Tiempo:	496 min (8 hr con 16 min).
Temperatura de la superficie del cemento:	210.46 °C
Temperatura de la superficie del aislamiento térmico:	34.51 °C
Temperatura Ambiente lado resistencia eléctrica:	23.27 °C
Temperatura Ambiente lado libre:	23.30 °C

Tabla 5. Resultados de la tercera corrida.

Y como se podrá observar que la temperatura de inicio en la superficie del cilindro de cemento comenzó con una temperatura mayor en comparación a la temperatura ambiente, ya que el calor se conservó de la prueba del día anterior (Aprox. 15 horas que quedo en reposo), y nos ayudó en arrancar el equipo desde una temperatura mayor (a 77.93 °C).

Realizamos la cuarta y última corrida de prueba, obteniendo los siguientes resultados. Ver figura 122.

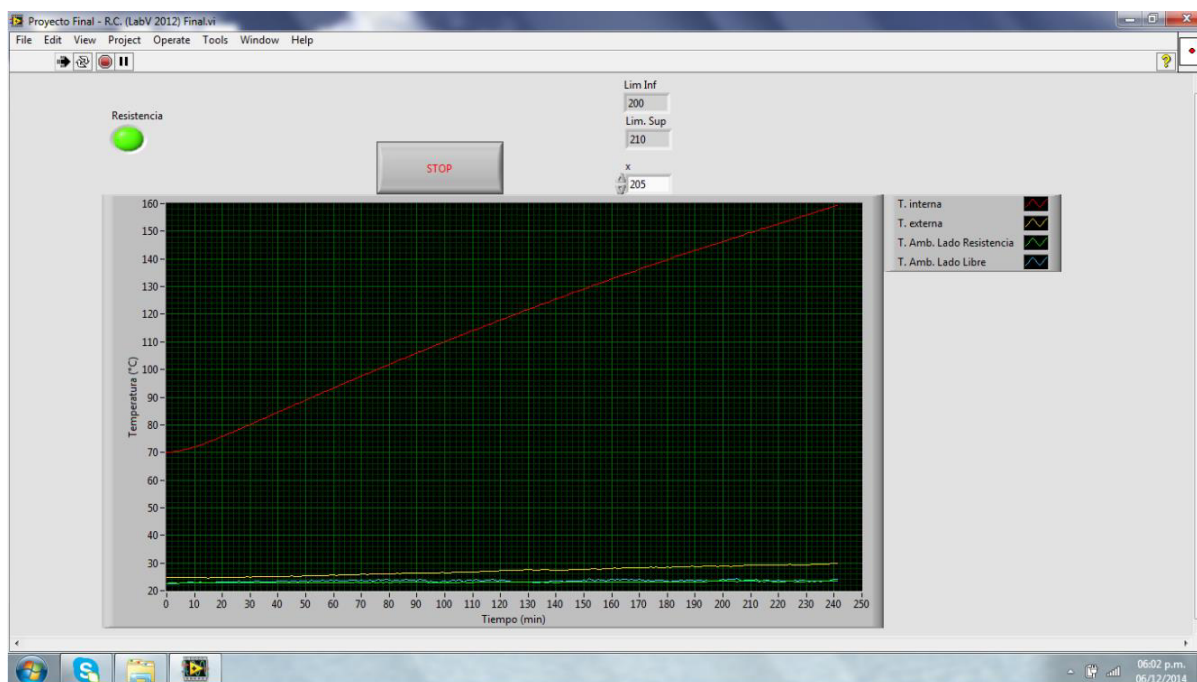


Figura 122. Cuarta corrida.

Se grafica desde Excel la 4ª Corrida, ver figura 123.

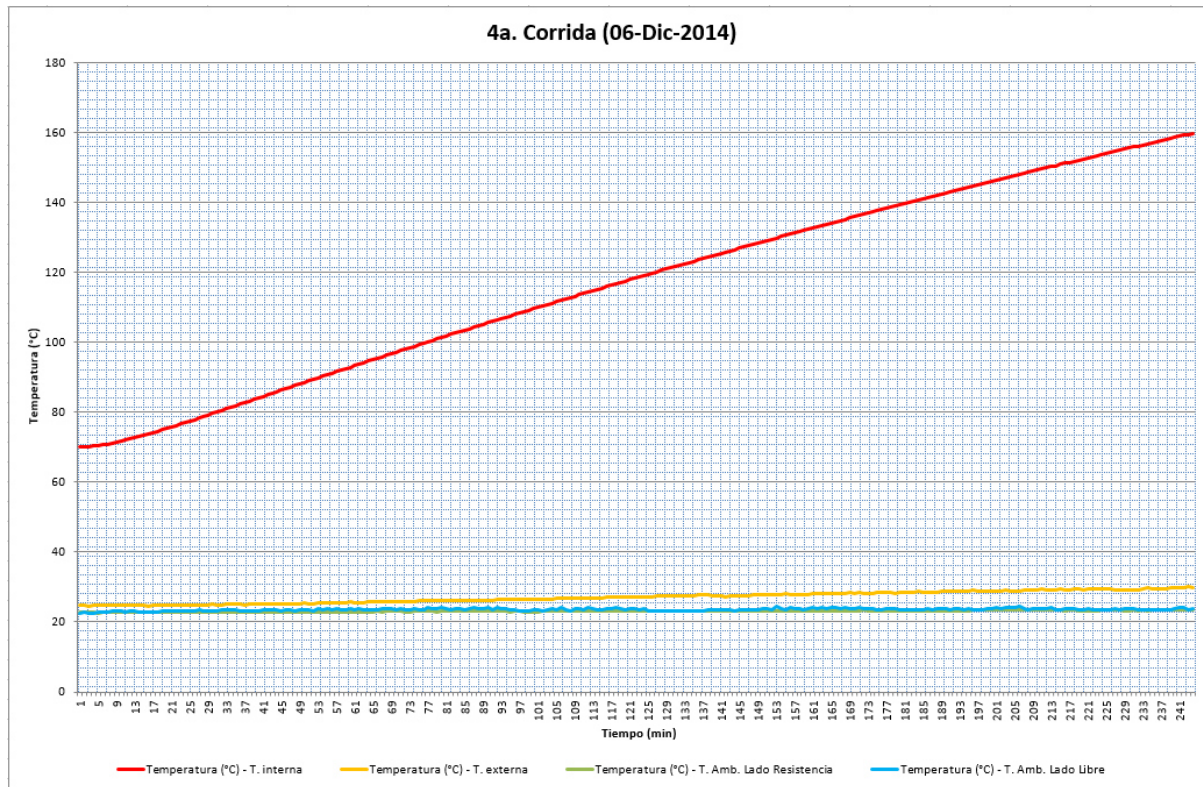


Figura 123. Grafica de la cuarta corrida.

Se incluye la tabla de resultados obtenidos en esta 4ª Corrida (Ver Anexo R-4).

En esta 4ª Corrida se llevó la prueba por 243 min (4 hrs con 4 min) en donde se llegó a alcanzar una Temperatura máxima en la superficie del cemento de 159.77 °C y al final de esta prueba la temperatura de la superficie del aislamiento térmico llegó a 29.87 °C. Pero establecemos como resultado más crítico la temperatura más alta que se haya alcanzado en la superficie del Aislamiento Térmico, la cual sería en el tiempo indicado en la siguiente tabla 6:

Tiempo:	242 min (4 hrs con 2 min).
Temperatura de la superficie del cemento:	159.51 °C
Temperatura de la superficie del aislamiento térmico:	30.0 °C
Temperatura Ambiente lado resistencia eléctrica:	23.52 °C
Temperatura Ambiente lado libre:	23.51 °C

Tabla 6. Resultados de la cuarta corrida.

Y como se podrá observar la temperatura de inicio de la superficie del cilindro de cemento comenzó con una temperatura mayor en comparación a la temperatura ambiente, ya que el calor se conservó de la prueba del día anterior (Aprox. 18 horas que quedo en reposo), y nos ayudó en arrancar el equipo desde una temperatura mayor (a 70.04 °C).

Verificación de resultados

Aplicamos el resultado más crítico que se haya obtenido en una de las 4 corridas realizadas, en este caso sería el que se obtuvo de la 3ª Corrida, por lo cual tomaremos los siguientes resultados para compararlo contra el resultado que nos arroje las ecuaciones (Anexo A – Ejemplo de cálculo) de la NRF-034-PEMEX-2011

De la tabla 7 tomaremos los datos que se indican sombreados en color amarillo.

Tiempo:	496 min (8 hr con 16 min).
Temperatura de la superficie del cemento:	210.46 °C
Temperatura de la superficie del aislamiento térmico:	34.51 °C
Temperatura Ambiente lado resistencia eléctrica:	23.27 °C
Temperatura Ambiente lado libre:	23.30 °C

Tabla 7. Resultados a analizar.

Diámetro exterior del cilindro de cemento: 28 cm = 0.28 m

Diámetro exterior del Aislamiento Térmico: 38.16 cm = 0.3816 m (Espesor del Aislamiento: 2 pulgadas)

Consideraremos la emisividad del aislamiento térmico de 0.4, esto de acuerdo a la Tabla C-2 de la NRF-034-PEMEX-2011.

Se está manejando un Aislamiento Térmico de Fibra de Vidrio de 0.0508 m (2") de espesor, el cual cuenta con una conductividad térmica de 0.038 W/m-K @ 122.4°C (Temperatura Media = [T. Superficie Cemento + T. Superficie Aislamiento] / 2), esto de acuerdo al fabricante. Ver figura 124.

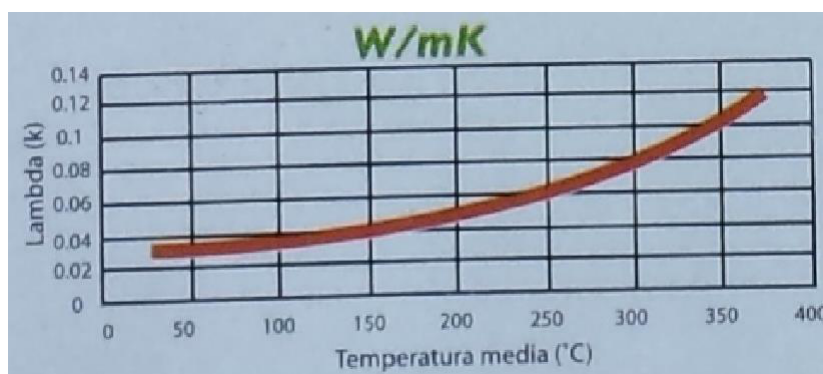


Figura 124. Conductividad térmica del aislante.

Consideramos que la habitación cuenta con un flujo de aire de 0.5m/s (1,800 m/h), el cual se filtra por las puertas de la habitación, ver figura 125.

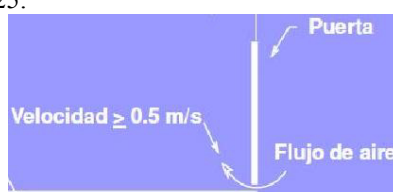


Figura 125. Flujo de aire en la habitación.

Por lo cual contamos con el siguiente Resumen de Datos:

- Diámetro exterior del cilindro de cemento (D_r) = 28 cm = 0.28 m
- Diámetro aislado (D_a) = $D_r + 2E$ = 0.28 m + (2 x 0.0508) = 0.3816 m
- Top (Temperatura de Operación) = 210.46 °C (483.46 K)
- T_a (Temperatura Ambiente) = 23.30 °C (296.3 K)
- V (Velocidad del Viento) = 1,800 m/h
- ϵ (Emisividad del Aislamiento) = 0.4
- E (Espesor del Aislamiento) = 0.0508 m

Se procede aplicar la siguiente ecuación; transferencia de calor en superficies cilíndricas.

$$Q = \frac{Top - Ta}{Eeq/k + 1/f}$$

El espesor equivalente (Eeq) se calcula con la siguiente ecuación:

$$Eeq = r_2 \ln(r_2/r_1)$$

$$r_1 = 0.28/2 = 0.14 \text{ m}$$

$$r_2 = r_1 + E = 0.14 + 0.0508 = 0.1908 \text{ m}$$

$$Eeq = 0.1908 \ln(0.1908/0.14) = 0.059 \text{ m}$$

Ya contamos con el valor de la conductiva térmica del aislamiento térmico por parte del fabricante:

$$k = 0.038 \text{ W/m-K}$$

Ahora determinamos el valor de f

$$f = hr + hc.$$

En donde:

$$hc = 3.0075 \text{ C Da}^{-0.2} [1.11/(Ts+Ta-510.44)]^{0.181} [1.8(Ts-Ta)]^{0.266} [1+(7.9366 \times 10^{-4} V)]^{0.5}$$

$$hr = 0.9824 \times 10^{-8} \epsilon [(Ts^4 - Ta^4) / (Ts-Ta)].$$

C Coeficiente de forma, 1.79 para superficies planas y 1.016 para tuberías, a dimensional.

T_s o T_{ss} Temperatura de superficie supuesta en K (°C).

Tomamos el valor que nos resultó de la prueba (3ª Corrida), como la “Temperatura de la superficie del aislamiento térmico” en la cual nos dio un valor de 34.51 °C (307.51 K).

$$hc = 3.0075 \times 1.016 \times 0.3816^{-0.2} [1.11/(307.51+296.3-510.44)]^{0.181} [1.8(307.51-296.3)]^{0.266} [1+(7.9366 \times 10^{-4} \times 1,800)]^{0.5}$$

$$hc = 5.7559 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$hr = 0.9824 \times 10^{-8} \times 0.4 [(307.51^4 - 296.3^4) / (307.51 - 296.3)].$$

$$hr = 0.4316 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$hr + hc = 0.4316 + 5.7559 = 6.1875 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$1/f = 1/(hr + hc) = 0.1616 \text{ W/m}^2 - \text{K}$$

$$Q = \frac{Top - Ta}{Eeq/k + 1/f} = \frac{483.46 - 296.3}{0.059/0.038 + 0.1616} = 109.18 \text{ W/m}^2$$

Con el resultado de este primer tanteo procedemos a calcular la temperatura de superficie que se deriva de esta transferencia de calor empleando la ecuación.

T_{sc} = Temperatura de superficie calculada [K] [°C]

$$T_{sc} = Q / f + T_a \quad (4)$$

$$T_{sc} = 109.18 \times 0.1616 + 296.3 = 313.94 \text{ K (40.94 °C)}$$

Entonces:

$$T_{sc} - T_{ss} = 313.94 - 307.51 = 6.43 \text{ K}$$

Siguiendo la indicación de la normativa nos indica lo siguiente:

La diferencia entre la temperatura de superficie calculada y la supuesta (considerada como la Temperatura de la superficie del aislamiento que nos resultó en la prueba) es mucho mayor que 1.0 (tenemos un resultado de 6.43), por lo tanto, siendo 1 el valor máximo aceptable por la NRF-034-PEMEX-2011, ahora si realizamos un tanteo de la superficie exterior del aislamiento térmico. La secuencia es la siguiente:

$$T_{ss} = 310 \text{ K (37 °C)}$$

$$h_r = 0.9824 \times 10^{-8} \times 0.4 \left[(310^4 - 296.3^4) / (310 - 296.3) \right] =$$

$$h_r = 0.438 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$h_c = 3.0075 \times 1.016 \times 0.3816^{-0.2} \left[1.11 / (310 + 296.3 - 510.44) \right]^{0.181} \left[1.8(310 - 296.3) \right]^{0.266} \left[1 + (7.9366 \times 10^{-4} \times 1,800) \right]^{0.5}$$

$$h_c = 6.043 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$h_r + h_c = 0.438 + 6.043 = 6.4811 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$1/f = 1/(h_r + h_c) = 0.1542 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{E_{eq} / k + 1/f} = \frac{483.46 - 296.3}{0.059 / 0.038 + 0.1542} = 109.64 \text{ W/m}^2$$

Con el resultado de este primer tanteo procedemos a calcular la temperatura de superficie que se deriva de esta transferencia de calor empleando la ecuación.

T_{sc} = Temperatura de superficie calculada [K] [°C]

$$T_{sc} = Q / f + T_a \quad (4)$$

$$T_{sc} = 109.64 \times 0.1542 + 296.3 = 313.21 \text{ K (40.21 °C)}$$

Entonces:

$$T_{sc} - T_{ss} = 313.21 - 310 = 3.21 \text{ K}$$

La diferencia entre la temperatura de superficie calculada y la supuesta (la cual se consideró en 310 K) sigue siendo mayor que 1.0 (tenemos un resultado de 3.21), por lo tanto, siendo 1 el valor máximo aceptable por la NRF-034-PEMEX-2011, se realiza un tercer tanteo de la superficie exterior del aislamiento térmico. La secuencia es la siguiente:

$$T_{ss} = 312 \text{ K (39 °C)}$$

$$\begin{aligned} h_r &= 0.9824 \times 10^{-8} \times 0.4 [(312^4 - 296.3^4) / (312 - 296.3)] = \\ h_r &= 0.4425 \text{ m}^2\text{-K/W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_c &= 3.0075 \times 1.016 \times 0.3816^{-0.2} [1.11/(312+296.3-510.44)]^{0.181} [1.8(312-296.3)]^{0.266} [1+(7.9366 \times 10^{-4} \times \\ &1,800)]^{0.5} \\ h_c &= 6.2426 \text{ m}^2\text{-K/W} \end{aligned}$$

$$h_r + h_c = 0.4425 + 6.2426 = 6.6851 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$1/f = 1/(h_r + h_c) = 0.1495 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{E_{eq}/k + 1/f} = \frac{483.46 - 296.3}{0.059/0.038 + 0.1495} = 109.95 \text{ W/m}^2$$

Con el resultado de este primer tanteo procedemos a calcular la temperatura de superficie que se deriva de esta transferencia de calor empleando la ecuación.

T_{sc} = Temperatura de superficie calculada [K] [°C]

$$T_{sc} = Q / f + T_a \quad (4)$$

$$T_{sc} = 109.95 \times 0.1495 + 296.3 = 312.73 \text{ K (39.73 °C)}$$

Entonces:

$$T_{sc} - T_{ss} = 312.73 - 312 = 0.73 \text{ K}$$

La diferencia entre la temperatura de superficie calculada y la supuesta (la cual se consideró en 312 K) es menor que 1,0 (tenemos un resultado de 0.73). En sucesivas iteraciones esta diferencia tiende a cero, se realiza un cuarto tanteo de la superficie exterior del aislamiento térmico para acercar el valor más a cero. La secuencia es la siguiente:

$$T_{ss} = 312.6 \text{ K (39.6 °C)}$$

$$\begin{aligned} h_r &= 0.9824 \times 10^{-8} \times 0.4 [(312.6^4 - 296.3^4) / (312.6 - 296.3)] = \\ h_r &= 0.4438 \text{ m}^2\text{-K/W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_c &= 3.0075 \times 1.016 \times 0.3816^{-0.2} [1.11/(312.6+296.3-510.44)]^{0.181} [1.8(312.6-296.3)]^{0.266} [1+(7.9366 \times 10^{-4} \times \\ &1,800)]^{0.5} \\ h_c &= 6.2982 \text{ m}^2\text{-K/W} \end{aligned}$$

$$h_r + h_c = 0.4438 + 6.2982 = 6.742 \text{ m}^2\text{-K/W}$$

$$1/f = 1/(h_r + h_c) = 0.1483 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{E_{eq}/k + 1/f} = \frac{483.46 - 296.3}{0.059/0.038 + 0.1483} = 110.03 \text{ W/m}^2$$

Con el resultado de este primer tanteo procedemos a calcular la temperatura de superficie que se deriva de esta transferencia de calor empleando la ecuación.

T_{sc} = Temperatura de superficie calculada [K] [°C]

$$T_{sc} = Q / f + T_a \quad (4)$$

$$T_{sc} = 110.03 \times 0.1483 + 296.3 = 312.617 \text{ K (39.617 °C)}$$

Entonces:

$$T_{sc} - T_{ss} = 312.617 - 312.6 = \mathbf{0.017 \text{ K}}$$

La diferencia entre la temperatura de superficie calculada y la supuesta (la cual se consideró en 312.6 K) es menor que 1,0 (tenemos un resultado de 0.017). En sucesivas iteraciones esta diferencia tiende a cero pero ya con diferencias de decimales en la temperatura supuesta que estemos considerando, por lo cual si ya contamos con un resultado cercano a cero ya no tiene caso seguir realizando otra iteración ya que el valor de temperatura supuesto cambia en lo mínimo que no es de gran importancia. Recordamos que el valor 1 es el máximo aceptable por la NRF-034-PEMEX-2011, de esta forma llegamos al resultado que estábamos buscando con respecto a la Temperatura de superficie supuesta, siendo esta de 312.6 K (39.6 °C).

Capítulo IV

Conclusión

En el desarrollo de esta investigación se pudo analizar la transferencia de calor en un aislante térmico de fibra de vidrio, utilizando dimensiones similares a la de una bomba centrífuga horizontal, se construyó un modelo físico con forma de cilindro fabricado de concreto que representaría el modelo de la bomba bajo prueba. En el interior del cilindro se colocó una resistencia eléctrica para generar calor con la finalidad de llegar a una temperatura estipulada de 210°C que simula la temperatura de la superficie de una bomba centrífuga en operación con fluidos típicos de la industria petrolera. La temperatura del cilindro fue controlada manipulando la potencia suministrada a la resistencia eléctrica. El control de la potencia eléctrica se realizó mediante el uso de un software llamado LabView, que controla la tarjeta electrónica que suministra energía a la resistencia. El cilindro se forró con un aislamiento térmico de fibra de vidrio, mismo que se eligió de forma consistente con lo establecido por la normativa NRF-034-PEMEX-2011, aplicable a equipos de proceso que opera a altas temperaturas.

Con el modelo físico experimental se pudo comprobar si en efecto el forro empleado en bombas, en consistencia con la normativa NRF-034-PEMEX-2011, que operan a alta temperatura es el adecuado. El modelo físico nos permitió obtener resultados de la temperatura externa del aislante, encontrándose diferencias respecto a lo que se espera según las ecuaciones establecidas en la normativa. Por mencionar un caso, en la tabla 8 mostramos los resultados más críticos que se obtuvieron en la 3ª. Corrida del experimento en físico.

Tiempo en el que se presentó el resultado más crítico en el aislamiento térmico:	496 min (8 hr con 16 min).
Temperatura de la superficie del cemento:	210.46 °C
Temperatura máxima alcanzada en la superficie del aislamiento térmico:	34.51 °C
Temperatura Ambiente lado resistencia eléctrica:	23.27 °C
Temperatura Ambiente lado libre:	23.30 °C

Tabla 8. Resultados del modelo experimental.

Con los datos que se obtuvieron en el modelo, se interpretaron en las ecuaciones del Anexo A de la NRF-034-PEMEX-2011, y obtuvimos un valor de Tss (Temperatura de superficie supuesta) de 39.6 °C. Mientras que en la práctica se obtuvo un valor de 34.51 °C, medidos en la superficie del Aislamiento Térmico. Lo anterior indica que los resultados varían un 14.74%. Con este resultado llegamos a la conclusión de que el Anexo A de la NRF-034-PEMEX-2011 maneja criterios más conservadores en comparación a los resultados que se obtuvieron en la práctica.

Por lo tanto podremos decir, en base a la investigación realizada, que la normativa NRF-034-PEMEX-2011 en efecto asegura la integridad física del personal y la selección de un Aislamiento Térmico.

Nota: Para futuras contribuciones el modelo en físico que se desarrolló en este proyecto, es donado al Laboratorio de Investigación e Innovación en Tecnología Energética de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
0	35.5506	19.307	41	50.7438	20.3532
1	35.9349	19.3187	42	51.1017	20.3909
2	36.2949	19.258	43	51.4709	20.4153
3	36.6541	18.8395	44	51.8401	20.3886
4	37.0089	18.7253	45	52.1337	20.3885
5	37.3427	18.9671	46	52.5225	20.3897
6	37.6517	19.0892	47	52.8751	20.4937
7	37.9911	19.1172	48	53.2411	20.5289
8	38.3614	19.1643	49	53.5798	20.5575
9	38.7211	19.2127	50	53.8986	20.5283
10	39.1163	19.2741	51	54.2657	20.6164
11	39.4485	19.171	52	54.6064	20.6244
12	39.8537	19.2513	53	54.9366	20.6417
13	40.2257	19.2989	54	55.2804	20.6564
14	40.6104	19.3378	55	55.5974	20.6139
15	40.9979	19.3616	56	55.9543	20.7008
16	41.3939	19.3966	57	56.2891	20.7021
17	41.7128	19.393	58	56.6033	20.6863
18	42.1043	19.4279	59	56.9499	20.7009
19	42.5119	19.44	60	57.2537	20.7486
20	42.8966	19.4299	61	57.5936	20.8268
21	43.2924	19.4108	62	57.9097	20.8386
22	43.6888	19.4352	63	58.2387	20.8618
23	44.059	19.5158	64	58.5687	20.8766
24	44.4246	19.5179	65	58.8734	20.8514
25	44.7851	19.5605	66	59.1807	20.8888
26	45.1546	19.5915	67	59.5119	20.9999
27	45.5453	19.6807	68	59.7819	21.0609
28	45.9225	19.9143	69	60.1199	21.0828
29	46.2483	19.9947	70	60.423	21.0952
30	46.6261	20.1694	71	60.7554	21.0609
31	47.0243	20.11	72	61.0434	21.0306
32	47.4203	20.1478	73	61.3606	21.0945
33	47.7938	20.1197	74	61.6636	21.0281
34	48.1717	20.1014	75	61.9532	21.0874
35	48.5778	20.1991	76	62.267	21.1092
36	48.937	20.2263	77	62.5578	21.1872
37	49.3002	20.2098	78	62.8332	21.2022
38	49.6411	20.2407	79	63.1421	21.2308
39	50.0467	20.3317	80	63.4212	21.1514
40	50.3988	20.3552	81	63.7425	21.2203

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
82	64.0164	21.2919	123	74.7417	21.8893
83	64.3266	21.4249	124	74.9913	21.8171
84	64.5924	21.4391	125	75.2025	21.8533
85	64.8882	21.4177	126	75.4449	22.3668
86	65.1904	21.2905	127	75.6909	21.7344
87	65.4158	21.3256	128	75.9411	22.0195
88	65.7399	21.3644	129	76.1474	22.0781
89	66.0187	21.3233	130	76.3882	22.2828
90	66.2837	21.4113	131	76.6246	22.3421
91	66.5922	21.4139	132	76.8509	22.5378
92	66.8647	21.356	133	77.0923	22.1327
93	67.117	21.3918	134	77.2986	22.3568
94	67.3901	21.2849	135	77.5227	22.6135
95	67.6363	21.3094	136	77.7464	22.4108
96	67.9272	21.4044	137	77.9603	22.1874
97	68.2035	21.3948	138	78.1958	22.651
98	68.4867	21.4898	139	78.3809	22.4204
99	68.7415	21.6147	140	78.6186	22.2262
100	69.0341	21.3898	141	78.8631	22.3046
101	69.259	21.4255	142	79.0628	22.5964
102	69.5299	21.4391	143	79.285	22.8777
103	69.7687	21.602	144	79.4975	22.5064
104	70.0928	21.5759	145	79.7364	22.4343
105	70.3292	21.5838	146	79.9477	22.7435
106	70.5916	21.8117	147	80.1757	22.8665
107	70.8589	21.5024	148	80.3543	22.8654
108	71.0985	21.648	149	80.6006	22.7343
109	71.3742	21.7294	150	80.8105	22.8685
110	71.5715	21.7542	151	81.0473	23.1046
111	71.8614	22.0791	152	81.2303	23.0022
112	72.0684	21.8301	153	81.4175	23.4418
113	72.3483	21.8178	154	81.6673	23.6874
114	72.5734	21.8277	155	81.8478	23.582
115	72.836	21.7155	156	82.0972	23.59
116	73.0762	21.7109	157	82.3162	23.757
117	73.3318	22.0786	158	82.5063	23.3769
118	73.5868	21.9957	159	82.7176	23.081
119	73.8217	22.0233	160	82.8925	23.0388
120	74.0463	22.0073	161	83.1212	23.4313
121	74.2873	21.9724	162	83.3383	22.7729
122	74.5182	21.9267	163	83.5245	22.6737

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
164	83.7435	23.1799	205	91.2462	26.7646
165	83.9347	23.3129	206	91.3775	26.757
166	84.1648	23.5847	207	91.562	26.2816
167	84.3495	23.6371	208	91.7156	26.5819
168	84.5428	23.6322	209	91.8522	26.5474
169	84.7881	23.5513	210	92.0112	26.8604
170	84.9697	24.2955	211	92.15	26.2817
171	85.186	24.2944	212	92.3017	27.2003
172	85.3888	24.0396	213	92.4172	27.1379
173	85.5725	24.2106	214	92.5686	27.098
174	85.7955	24.2557	215	92.7264	27.5956
175	85.9926	24.2789	216	92.8181	27.4118
176	86.1718	24.4294	217	92.9942	27.6628
177	86.4008	24.6575	218	93.1471	27.5457
178	86.5705	24.8578	219	93.2604	28.6805
179	86.7903	24.9688	220	93.367	27.4349
180	86.9817	24.6695	221	93.5506	27.1866
181	87.1721	25.2257	222	93.6618	27.7092
182	87.3345	25.7378	223	93.7682	27.5944
183	87.5662	24.9414	224	93.8906	27.2804
184	87.7256	24.8538	225	94.0239	27.7935
185	87.9115	25.4838	226	94.1322	28.6936
186	88.0976	24.7322	227	94.2693	28.4594
187	88.2761	25.1788	228	94.3971	28.1891
188	88.4558	25.2249	229	94.5188	28.4823
189	88.6375	25.1325	230	94.6221	28.5946
190	88.8379	25.3508	231	94.7507	28.9297
191	88.9819	25.3318	232	94.8619	28.5771
192	89.1323	26.0963	233	94.9755	28.884
193	89.3118	25.8656	234	95.0913	29.2237
194	89.4801	25.8709	235	95.1896	29.1863
195	89.6387	25.7533	236	95.3396	29.531
196	89.8303	25.7262	237	95.4483	29.5983
197	89.9928	25.6274	238	95.5473	29.1798
198	90.1671	25.7198	239	95.6485	29.8674
199	90.3	25.6484	240	95.7765	29.5417
200	90.4824	26.0423	241	95.8756	29.0481
201	90.6089	26.5282	242	95.9945	29.4668
202	90.7718	27.0653	243	96.0898	29.1155
203	90.9258	27.0584	244	96.1889	29.2701
204	91.0905	26.4707	245	96.2694	29.8375

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
246	96.3726	29.6381	287	99.6904	32.0769
247	96.4847	30.0568	288	99.7449	31.9685
248	96.5747	29.7228	289	99.8243	30.9993
249	96.6808	29.7503	290	99.8878	31.5118
250	96.7223	30.1026	291	99.9213	32.02
251	96.8316	28.854	292	99.9826	32.3424
252	96.9019	29.8878	293	100.066	32.0697
253	97.0635	29.8165	294	100.148	30.781
254	97.146	29.5941	295	100.164	31.8029
255	97.2206	30.0627	296	100.233	32.0041
256	97.3032	30.2222	297	100.307	31.7605
257	97.382	30.209	298	100.37	31.5965
258	97.4665	30.2344	299	100.424	31.639
259	97.5858	30.3847	300	100.407	31.9934
260	97.6452	29.5239	301	100.489	32.1798
261	97.7454	30.4411	302	100.554	33.0318
262	97.8296	30.4321	303	100.603	32.127
263	97.8818	30.4529	304	100.695	31.5934
264	97.9995	30.4196	305	100.751	31.64
265	98.0775	30.3662	306	100.784	32.4453
266	98.1603	30.2978	307	100.808	31.4621
267	98.2215	31.0699	308	100.883	31.6396
268	98.2757	30.7746	309	100.91	31.861
269	98.3762	30.8811	310	100.974	31.5473
270	98.472	30.6211	311	101.078	31.6875
271	98.5609	29.5563	312	101.098	32.3308
272	98.643	31.0346	313	101.138	31.6883
273	98.73	30.363	314	101.206	31.6712
274	98.7676	30.9499	315	101.234	31.2603
275	98.8482	30.147	316	101.33	30.3108
276	98.9106	30.4142	317	101.358	31.0637
277	99.0015	30.0559	318	101.38	31.4224
278	99.0846	31.2694	319	101.473	31.8337
279	99.1434	30.8849	320	101.526	32.3111
280	99.2158	31.5939	321	101.575	32.1903
281	99.2878	31.3852	322	101.568	32.0112
282	99.3682	31.5566	323	101.639	32.1489
283	99.3998	31.307	324	101.677	31.4289
284	99.493	31.1352	325	101.723	31.7087
285	99.5565	30.8373	326	101.774	31.5849
286	99.6059	31.7863	327	101.847	32.0091

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
328	101.883	32.4765	369	103.725	32.0121
329	101.902	31.8616	370	103.788	31.9399
330	101.973	31.193	371	103.819	32.1059
331	102.014	32.9168	372	103.872	32.4292
332	102.061	33.0474	373	103.912	32.3015
333	102.101	32.2867	374	103.966	32.9973
334	102.169	32.3356	375	104.013	33.1186
335	102.177	32.4123	376	104.05	32.917
336	102.261	31.8491	377	104.085	32.9509
337	102.31	31.2968	378	104.166	32.7102
338	102.353	31.7532	379	104.235	31.9989
339	102.381	31.5808	380	104.29	32.7729
340	102.431	32.2726	381	104.326	32.7365
341	102.487	32.3049	382	104.373	32.5844
342	102.544	32.0243	383	104.442	32.6527
343	102.566	31.5047	384	104.505	32.5578
344	102.62	31.1352	385	104.517	32.6521
345	102.639	31.5931	386	104.556	31.9488
346	102.706	32.0944	387	104.636	31.8453
347	102.769	32.152	388	104.697	32.5688
348	102.807	32.3171	389	104.722	32.2779
349	102.845	32.4145	390	104.783	32.0252
350	102.889	32.8196	391	104.849	31.9573
351	102.933	33.3642	392	104.91	32.0451
352	102.956	33.4778	393	104.953	32.046
353	103.031	33.3379	394	105.008	31.5969
354	103.051	32.7515	395	105.088	32.2594
355	103.088	32.3946	396	105.129	32.195
356	103.158	32.7856	397	105.156	32.6638
357	103.189	32.9435	398	105.253	32.681
358	103.234	33.0564	399	105.296	31.9348
359	103.294	32.7646	400	105.311	32.895
360	103.335	32.4763	401	105.342	32.4657
361	103.343	32.8815	402	105.449	32.7427
362	103.402	33.2925	403	105.48	32.6535
363	103.469	32.5599	404	105.529	32.7973
364	103.498	32.6137	405	105.592	32.5796
365	103.524	32.7517	406	105.658	32.3727
366	103.577	31.5497	407	105.728	32.2014
367	103.643	31.9958	408	105.742	32.1876
368	103.664	32.1319	409	105.823	32.6147

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
410	105.865	32.3772	451	108.434	31.4303
411	105.913	32.1438	452	108.491	31.9514
412	105.99	32.5123	453	108.534	31.5362
413	106.019	32.5809	454	108.587	31.7614
414	106.105	33.187	455	108.665	31.3939
415	106.169	33.1672	456	108.706	32.3729
416	106.214	31.8819	457	108.79	32.5277
417	106.28	32.0294	458	108.868	31.9956
418	106.334	31.6053	459	108.92	31.6764
419	106.393	31.5818	460	108.978	31.7544
420	106.486	31.8049	461	109.074	31.3341
421	106.529	31.8913	462	109.132	31.6515
422	106.611	32.2642	463	109.196	31.3752
423	106.642	31.8683	464	109.262	31.4696
424	106.683	31.9423	465	109.34	31.2208
425	106.769	31.5074	466	109.387	31.5721
426	106.84	32.0618	467	109.468	31.366
427	106.89	31.8773	468	109.494	30.67
428	106.951	31.989	469	109.584	31.3928
429	107.014	31.6003	470	109.664	31.1026
430	107.05	31.4157	471	109.74	31.6546
431	107.096	31.8269	472	109.825	31.5547
432	107.173	31.715	473	109.866	30.7696
433	107.243	32.0441	474	109.902	31.6756
434	107.287	32.1636	475	110.027	31.7464
435	107.404	32.2206	476	110.09	31.6418
436	107.455	31.9851	477	110.123	31.7492
437	107.499	32.0756	478	110.2	31.5204
438	107.556	30.3965	479	110.305	31.2268
439	107.628	30.7196	480	110.367	31.2585
440	107.678	31.3047	481	110.414	30.9596
441	107.745	31.6202	482	110.478	30.7813
442	107.832	31.6078	483	110.557	31.0723
443	107.874	31.7037	484	110.622	31.117
444	107.909	31.6883	485	110.701	30.9507
445	108.002	31.1751	486	110.759	30.8563
446	108.088	31.1513	487	110.818	31.2311
447	108.148	30.8896	488	110.948	31.6304
448	108.215	31.382	489	110.994	31.2471
449	108.289	31.7609	490	111.078	31.2787
450	108.339	31.4736	491	111.129	30.8145

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
492	111.213	30.7979	533	114.383	30.7002
493	111.298	30.5503	534	114.43	30.5973
494	111.373	30.7889	535	114.542	30.6893
495	111.416	30.7984	536	114.657	30.6374
496	111.49	30.8664	537	114.697	30.5851
497	111.584	30.5167	538	114.755	30.7861
498	111.65	30.8139	539	114.866	30.5126
499	111.697	30.9866	540	114.948	30.3486
500	111.789	31.2521	541	115.031	30.5134
501	111.886	31.2738	542	115.089	30.3622
502	111.952	30.6461	543	115.211	30.7472
503	112.011	31.0514	544	115.278	30.3515
504	112.081	31.2655	545	115.367	30.3656
505	112.15	30.4755	546	115.431	29.7761
506	112.227	30.5265	547	115.564	29.8578
507	112.315	30.6176	548	115.621	30.1327
508	112.376	31.0545	549	115.705	29.9836
509	112.465	31.1195	550	115.827	29.8383
510	112.524	31.2651	551	115.873	29.665
511	112.595	30.8153	552	115.978	29.6126
512	112.681	31.1295	553	116.072	29.6261
513	112.744	30.9029	554	116.149	29.6352
514	112.84	30.5021	555	116.26	30.273
515	112.916	30.5683	556	116.342	30.2389
516	112.971	30.5406	557	116.415	30.1295
517	113.072	31.1064	558	116.538	30.3086
518	113.156	30.3215	559	116.615	30.016
519	113.244	30.1509	560	116.716	30.1335
520	113.299	31.0221	561	116.804	29.5327
521	113.393	30.8498	562	116.9	30.1153
522	113.463	30.7646	563	117.011	30.1515
523	113.561	31.0293	564	117.088	30.2829
524	113.645	31.2323	565	117.167	30.0515
525	113.738	30.4489	566	117.271	30.0424
526	113.796	30.4773	567	117.384	29.8488
527	113.889	30.6794	568	117.476	29.528
528	113.945	30.8409	569	117.599	29.4837
529	114.029	30.6723	570	117.672	29.6311
530	114.158	31.0252	571	117.79	29.9683
531	114.182	30.9177	572	117.917	30.2792
532	114.244	30.8817	573	117.955	30.075

ANEXO R-1

Tabla de resultados obtenidos en la 1ª Corrida. (03-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa
574	118.057	29.8472
575	118.188	29.9765
576	118.305	29.7621
577	118.399	29.5118
578	118.509	29.4983
579	118.647	29.7047
580	118.731	29.6667
581	118.827	29.5875
582	118.938	29.4496
583	119.026	29.7084
584	119.149	29.8505
585	119.239	29.4161
586	119.374	29.0573
587	119.513	29.1636
588	119.622	29.2525
589	119.697	30.0687
590	119.859	29.7952
591	120.005	29.8314
592	120.107	29.7286
593	120.222	29.4869
594	120.33	29.282
595	120.464	29.4286
596	120.57	29.5437
597	120.685	29.6247
598	120.841	29.5862
599	120.961	29.6951
600	121.116	29.8196
601	121.198	29.5736
602	121.338	29.6107
603	121.484	29.6561
604	121.601	29.8085
605	121.754	29.5665
606	121.88	29.4331
607	122.007	29.4167

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
0	57.2802	20.7907	19.3537	19.3305
1	57.2148	20.8047	19.3891	19.3687
2	57.1815	20.7802	19.4019	19.3808
3	57.1842	20.7972	19.4422	19.4275
4	57.1738	20.7876	19.4911	19.47
5	57.2665	20.8391	19.6003	19.6349
6	57.3889	20.8862	19.5476	19.7169
7	57.5212	20.9451	19.5652	19.69
8	57.7527	20.9556	19.5845	19.7602
9	57.984	21.0021	19.6818	19.9181
10	58.2684	20.9969	19.6405	19.8957
11	58.5194	20.914	19.6626	19.8903
12	58.8611	20.9563	19.6733	19.8267
13	59.1492	20.965	19.6692	19.7805
14	59.556	20.9869	19.7826	19.9701
15	59.8751	21.0747	19.7527	19.9331
16	60.267	21.0287	19.7203	20.0389
17	60.6581	21.1315	19.785	20.0473
18	61.0442	21.1726	19.7883	20.095
19	61.4224	21.1942	19.7514	20.0728
20	61.8013	21.1908	19.7342	20.0731
21	62.2406	21.2509	19.7675	20.0137
22	62.6383	21.2343	19.7688	20.0713
23	63.0584	21.2205	19.7721	20.1488
24	63.4884	21.2561	19.7576	20.0913
25	63.9104	21.2604	19.7416	20.1112
26	64.3372	21.3283	19.7808	20.0435
27	64.7509	21.3572	19.8079	20.062
28	65.1946	21.4161	19.8334	20.1476
29	65.6254	21.3254	19.8735	20.1186
30	66.06	21.3982	19.8443	20.2016
31	66.4917	21.42	19.8784	20.2158
32	66.932	21.4572	19.8679	20.1046
33	67.337	21.4557	19.8433	20.2502
34	67.7807	21.5475	19.8847	20.1095
35	68.248	21.6196	19.9013	20.0456
36	68.6517	21.6655	19.9005	20.1527
37	69.1183	21.6965	19.9325	20.1823
38	69.5471	21.7032	19.9492	20.2497
39	69.9648	21.7429	19.9431	20.1343
40	70.3994	21.741	19.9242	20.2298

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
41	70.8368	21.66	19.938	20.246
42	71.265	21.7398	19.9145	20.1317
43	71.7342	21.8306	19.9512	20.2701
44	72.141	21.8399	19.9265	20.1281
45	72.5686	21.8536	19.9435	20.0675
46	73.0283	21.9526	19.98	20.2364
47	73.4296	21.9982	19.9798	20.1644
48	73.8698	22.0286	19.9811	20.1273
49	74.2711	22.1307	19.9696	20.1498
50	74.7538	22.1421	20.026	20.2242
51	75.1506	22.1383	20.0212	20.1476
52	75.5833	22.1893	20.0459	20.2115
53	76.024	22.2311	20.0525	20.1708
54	76.4183	22.2855	19.9992	20.2627
55	76.8612	22.2702	20.0486	20.1811
56	77.2815	22.2292	20.0553	20.175
57	77.6791	22.2686	20.0835	20.119
58	78.1098	22.2747	20.0754	20.459
59	78.5071	22.1583	20.0692	20.4329
60	78.9577	22.2525	20.0957	20.3412
61	79.3386	22.2847	20.0547	20.1517
62	79.7867	22.3353	20.1401	20.4239
63	80.2178	22.3553	20.0987	20.4969
64	80.6387	22.4209	20.1253	20.3921
65	81.0405	22.4413	20.1643	20.2111
66	81.4732	22.4145	20.1298	20.2754
67	81.8468	22.4417	20.0748	20.4461
68	82.2861	22.512	20.1175	20.3502
69	82.6849	22.6158	20.0866	20.2351
70	83.1033	22.7068	20.0854	20.233
71	83.5457	22.7683	20.1074	20.4858
72	83.9506	22.7334	20.1092	20.4427
73	84.3204	22.7293	20.0999	20.5288
74	84.7461	22.7029	20.1543	20.4395
75	85.1491	22.7262	20.1375	20.4553
76	85.5752	22.8131	20.1757	20.4197
77	85.9695	22.8256	20.157	20.393
78	86.3721	22.8807	20.1703	20.2299
79	86.781	22.932	20.1808	20.2096
80	87.1716	22.9987	20.1429	20.2554

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
81	87.5701	23.0125	20.1506	20.3445
82	88.0047	22.977	20.13	20.2724
83	88.3876	22.9111	20.0884	20.2279
84	88.7884	22.9102	20.1205	20.5272
85	89.1532	22.8812	20.1259	20.377
86	89.5508	23.0155	20.1224	20.512
87	89.9485	23.0972	20.1696	20.4798
88	90.3601	23.1578	20.215	20.2892
89	90.7254	23.0986	20.1823	20.4434
90	91.1207	23.1749	20.1546	20.297
91	91.5013	23.275	20.1551	20.3306
92	91.9375	23.299	20.2587	20.4057
93	92.2782	23.2332	20.1745	20.3443
94	92.6339	23.2875	20.1502	20.2136
95	93.0479	23.4442	20.1844	20.2549
96	93.4359	23.3402	20.2354	20.4467
97	93.8392	23.4275	20.2546	20.3965
98	94.2245	23.4587	20.2407	20.4553
99	94.5981	23.5602	20.2648	20.3901
100	94.998	23.6184	20.2633	20.2983
101	95.3861	23.7143	20.2796	20.2829
102	95.7058	23.737	20.2263	20.2641
103	96.1239	23.7558	20.2855	20.338
104	96.4924	23.6879	20.2572	20.3891
105	96.8841	23.6754	20.3118	20.3497
106	97.2479	23.7777	20.289	20.2999
107	97.6302	23.8344	20.28	20.3363
108	97.9886	23.8278	20.2227	20.3315
109	98.3786	23.7725	20.2493	20.3496
110	98.7308	23.8589	20.2866	20.3141
111	99.138	23.9182	20.3374	20.3668
112	99.497	23.8949	20.2776	20.5471
113	99.8835	24.102	20.2995	20.4319
114	100.241	23.8926	20.2549	20.4114
115	100.601	24.0081	20.2601	20.3699
116	100.993	24.0857	20.2979	20.4149
117	101.329	24.1756	20.3188	20.42
118	101.69	24.1441	20.3032	20.411
119	102.058	23.9623	20.3317	20.4007
120	102.409	24.1003	20.2949	20.3819

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
121	102.764	23.858	20.3288	20.4238
122	103.136	23.9155	20.304	20.5749
123	103.488	23.9675	20.4651	20.5119
124	103.841	23.9945	20.4035	20.4701
125	104.198	24.1807	20.4001	20.5386
126	104.539	24.1787	20.3739	20.5224
127	104.918	24.1268	20.3878	20.4999
128	105.259	24.1022	20.3238	20.5522
129	105.631	24.1929	20.2885	20.5651
130	105.978	24.1715	20.2674	20.492
131	106.328	24.1443	20.266	20.466
132	106.653	24.1048	20.2701	20.3988
133	106.996	24.2198	20.2513	20.4338
134	107.381	24.1896	20.3168	20.4081
135	107.693	24.2481	20.2822	20.4364
136	108.067	24.3991	20.3285	20.3881
137	108.374	24.2237	20.2557	20.5701
138	108.732	24.3547	20.2743	20.5363
139	109.079	24.3944	20.2146	20.4718
140	109.4	24.0708	20.2122	20.4553
141	109.749	24.2161	20.2258	20.4305
142	110.09	24.5161	20.2243	20.3794
143	110.445	24.5215	20.286	20.3971
144	110.758	24.4796	20.2452	20.3526
145	111.092	24.5407	20.2936	20.4747
146	111.415	24.5107	20.2733	20.4483
147	111.765	24.4781	20.3002	20.434
148	112.104	24.576	20.2526	20.4323
149	112.423	24.5328	20.2445	20.4067
150	112.754	24.5545	20.2768	20.4115
151	113.079	24.6994	20.3114	20.4467
152	113.431	24.6343	20.2987	20.468
153	113.705	24.6212	20.2841	20.4165
154	114.059	24.653	20.2872	20.4229
155	114.419	24.9846	20.3076	20.4272
156	114.681	24.831	20.3199	20.3488
157	115.065	24.9123	20.3471	20.5291
158	115.36	24.922	20.363	20.4855
159	115.686	24.9976	20.3278	20.5079
160	115.958	25.1445	20.3211	20.5159

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
161	116.262	24.9139	20.3137	20.4981
162	116.596	24.9294	20.3594	20.5159
163	116.941	25.0082	20.364	20.6183
164	117.229	24.9029	20.4326	20.583
165	117.541	24.9066	20.357	20.5073
166	117.854	24.9938	20.3453	20.6573
167	118.159	25.0634	20.3781	20.5417
168	118.478	25.0657	20.3498	20.5176
169	118.779	24.882	20.3555	20.537
170	119.055	24.8429	20.3144	20.5163
171	119.374	25.0491	20.3226	20.4876
172	119.664	25.0575	20.303	20.463
173	119.973	25.1592	20.334	20.4872
174	120.287	25.122	20.3638	20.5482
175	120.595	25.0612	20.3901	20.6071
176	120.873	25.0854	20.3805	20.4968
177	121.167	25.0579	20.3362	20.4658
178	121.461	25.0708	20.3724	20.476
179	121.734	25.1557	20.3626	20.4477
180	122.034	25.0122	20.3447	20.4787
181	122.325	25.1981	20.3431	20.5606
182	122.607	25.5199	20.3347	20.5134
183	122.943	25.4058	20.3591	20.5378
184	123.201	25.5183	20.3517	20.5068
185	123.505	25.345	20.3842	20.5974
186	123.807	25.3929	20.3882	20.5739
187	124.072	25.2674	20.3899	20.5114
188	124.384	25.3982	20.3925	20.5694
189	124.668	25.4623	20.3925	20.5532
190	124.961	25.4438	20.4116	20.596
191	125.23	25.7382	20.4308	20.5754
192	125.496	25.7781	20.3941	20.5917
193	125.774	25.4641	20.3556	20.557
194	126.084	25.5642	20.4327	20.5688
195	126.346	25.5355	20.3834	20.5649
196	126.629	25.4458	20.4017	20.5986
197	126.894	25.8065	20.4248	20.5533
198	127.177	25.8497	20.5025	20.6438
199	127.446	25.9245	20.4575	20.7369
200	127.688	25.5863	20.4346	20.6294

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
201	128.012	25.486	20.4883	20.5866
202	128.271	25.6965	20.4515	20.6387
203	128.544	25.7902	20.4562	20.6177
204	128.789	25.6305	20.434	20.6377
205	129.075	25.3291	20.4797	20.6002
206	129.296	25.7968	20.4111	20.5931
207	129.595	25.5869	20.4273	20.6267
208	129.872	25.8622	20.4494	20.5931
209	130.163	25.8788	20.486	20.6155
210	130.426	25.9092	20.4662	20.59
211	130.637	25.9148	20.4409	20.5849
212	130.939	26.0039	20.476	20.6126
213	131.179	26.0091	20.459	20.6339
214	131.416	26.0241	20.4732	20.6779
215	131.658	25.9749	20.4845	20.6348
216	131.954	25.9174	20.5071	20.6031
217	132.185	25.8822	20.4984	20.6246
218	132.448	25.7885	20.4594	20.5762
219	132.684	25.8427	20.4765	20.6145
220	132.939	26.0799	20.5028	20.6238
221	133.184	26.0838	20.5101	20.6873
222	133.42	26.1623	20.5207	20.6988
223	133.675	26.2046	20.5462	20.7759
224	133.947	26.2055	20.5382	20.88
225	134.198	26.2462	20.5692	20.7906
226	134.437	26.0732	20.5799	20.8169
227	134.683	25.9791	20.5582	20.8218
228	134.902	26.1296	20.4114	20.5984
229	135.174	26.2796	20.5243	20.7715
230	135.439	26.4785	20.517	20.7134
231	135.637	26.3289	20.5643	20.6926
232	135.889	26.3233	20.5515	20.6687
233	136.136	26.3892	20.5918	20.7555
234	136.353	26.3318	20.541	20.782
235	136.585	26.3303	20.6343	20.8955
236	136.816	26.2882	20.5996	20.8564
237	137.034	26.5065	20.5479	20.8021
238	137.244	26.5103	20.5844	20.7734
239	137.502	26.5611	20.5867	20.8027
240	137.739	26.6271	20.6006	20.8413

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
241	137.991	26.5064	20.5866	20.841
242	138.181	26.4119	20.6086	20.8831
243	138.439	26.5123	20.5873	20.8033
244	138.646	26.5227	20.5988	20.7425
245	138.884	25.9602	20.583	20.8127
246	139.106	26.1453	20.5954	20.8018
247	139.336	26.4457	20.6253	20.755
248	139.597	26.5901	20.6336	20.9187
249	139.769	26.5487	20.6398	20.8383
250	140.022	26.7615	20.517	20.8085
251	140.232	26.7365	20.5288	20.9259
252	140.435	27.0421	20.6061	20.814
253	140.661	26.9538	20.6889	20.8063
254	140.886	26.8488	20.6642	20.78
255	141.103	26.7699	20.6724	20.8373
256	141.327	26.6831	20.5945	20.7891
257	141.525	26.6677	20.5263	21.0847
258	141.766	26.6765	20.5861	20.9
259	142	26.7084	20.66	20.8429
260	142.201	26.8684	20.6841	20.9602
261	142.374	26.9088	20.6802	20.9176
262	142.651	26.8069	20.7156	20.9027
263	142.82	26.8805	20.6881	20.827
264	143.062	27.0152	20.7107	20.868
265	143.278	27.0698	20.7093	20.8912
266	143.504	26.8231	20.7146	20.8846
267	143.707	26.6788	20.6827	20.8561
268	143.952	26.8132	20.7125	20.8732
269	144.131	26.8769	20.7156	20.8805
270	144.326	26.7039	20.6902	20.9207
271	144.566	27.0997	20.7089	20.887
272	144.784	27.3216	20.7142	20.8937
273	144.983	27.1708	20.6165	20.994
274	145.196	27.0549	20.7226	21.0922
275	145.387	27.1404	20.7317	20.9873
276	145.642	26.9012	20.7742	20.9608
277	145.816	27.0367	20.7849	21.0275
278	146.039	27.0945	20.75	21.0433
279	146.252	26.897	20.7565	20.9455
280	146.489	27.0981	20.7659	20.9418

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
281	146.666	27.2032	20.7642	20.9055
282	146.896	27.2967	20.7914	20.9639
283	147.119	27.1214	20.8014	20.9365
284	147.32	27.0803	20.7415	20.8995
285	147.493	27.0933	20.7327	20.9131
286	147.704	27.2348	20.7269	20.9012
287	147.904	26.8602	20.7282	20.9113
288	148.152	27.0329	20.825	20.987
289	148.373	27.1783	20.8146	20.9992
290	148.558	27.3147	20.7705	20.9542
291	148.739	27.2484	20.786	21.0434
292	148.99	27.3459	20.8135	20.9547
293	149.15	27.1902	20.7917	20.9636
294	149.353	27.2313	20.7705	20.9391
295	149.571	27.2477	20.815	21.0044
296	149.766	27.3421	20.7959	20.9317
297	149.966	27.2749	20.8071	20.951
298	150.161	27.0977	20.7869	20.9291
299	150.376	27.0385	20.795	21.0035
300	150.584	27.3719	20.8295	20.9698
301	150.776	27.3685	20.8329	20.9741
302	150.947	27.5651	20.8241	20.9913
303	151.231	27.0798	20.8688	21.0164
304	151.419	27.3248	20.8691	21.0419
305	151.581	27.4503	20.8093	20.976
306	151.789	27.3624	20.9084	21.0042
307	151.978	27.4089	20.9383	21.0816
308	152.154	27.4906	20.9035	21.0058
309	152.373	27.7165	20.8955	21.0306
310	152.54	27.7508	20.9182	21.0691
311	152.78	27.5108	20.933	21.0237
312	152.965	27.5247	20.9494	21.1184
313	153.152	27.4148	20.9617	21.0746
314	153.374	27.556	20.9473	21.0725
315	153.538	27.7224	20.9081	21.0791
316	153.731	27.5626	20.9163	21.0093
317	153.913	27.9451	20.9251	21.0701
318	154.139	27.9202	20.9487	21.0648
319	154.306	27.8669	20.9192	21.1619
320	154.51	27.8005	20.9311	21.1252

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
321	154.688	27.8355	20.9083	21.1435
322	154.9	27.8701	20.9795	21.1339
323	155.097	27.8981	20.9279	21.0512
324	155.276	27.8238	20.9642	21.2347
325	155.483	27.7757	20.9725	21.2648
326	155.681	27.8027	20.9617	21.1383
327	155.88	27.9886	20.9907	21.1491
328	156.052	27.9976	20.9696	21.2071
329	156.233	27.8925	20.9914	21.1411
330	156.422	27.7968	20.9432	21.1085
331	156.615	27.42	20.9516	21.1155
332	156.805	27.5373	20.9683	21.0774
333	157.001	27.6277	20.9689	21.1077
334	157.21	27.8218	20.9796	21.1338
335	157.403	28.0481	21.0062	21.1314
336	157.577	28.139	20.9961	21.082
337	157.753	28.0382	20.9891	21.1789
338	157.941	28.0713	20.9692	21.3013
339	158.143	28.1977	21.0339	21.3067
340	158.283	28.1888	21.0749	21.3628
341	158.498	28.1969	21.1263	21.6032
342	158.674	28.6898	21.2211	21.4283
343	158.861	28.5469	21.1865	21.3587
344	159.08	28.4916	21.2691	21.542
345	159.266	28.6045	21.3059	21.5918
346	159.442	28.1576	21.3302	21.5121
347	159.598	28.3835	21.241	21.3538
348	159.803	28.1727	21.2543	21.3291
349	160.002	28.5116	21.2629	21.3866
350	160.177	28.4994	21.1979	21.3218
351	160.341	28.2298	21.1916	21.4285
352	160.53	28.0719	21.1716	21.3396
353	160.725	28.2773	21.2091	21.3248
354	160.896	28.0452	21.2016	21.3701
355	161.078	28.3344	21.1812	21.3209
356	161.269	28.5139	21.1751	21.38
357	161.43	28.532	21.1727	21.2558
358	161.646	28.3986	21.169	21.2971
359	161.828	28.2009	21.1788	21.3308
360	161.994	28.2463	21.1722	21.2586

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
361	162.163	28.0277	21.1286	21.3566
362	162.376	28.224	21.1973	21.3382
363	162.532	28.215	21.1348	21.3706
364	162.699	28.2334	21.1681	21.2712
365	162.876	28.4565	21.1688	21.3814
366	163.065	28.4927	21.1868	21.3931
367	163.217	28.9041	21.1949	21.3711
368	163.426	28.8015	21.1925	21.369
369	163.599	28.887	21.1095	21.378
370	163.773	28.6111	21.2348	21.5368
371	163.963	28.6845	21.3267	21.4494
372	164.078	28.4512	21.2726	21.471
373	164.296	28.497	21.3023	21.4861
374	164.449	28.2856	21.2728	21.3988
375	164.638	28.3196	21.2995	21.3986
376	164.827	28.5334	21.3252	21.4285
377	165	28.6671	21.2764	21.4699
378	165.179	28.7466	21.2722	21.4199
379	165.371	29.0731	21.2803	21.3876
380	165.531	28.8441	21.2826	21.4157
381	165.706	28.5506	21.2818	21.3521
382	165.909	28.809	21.2773	21.5481
383	166.029	28.6592	21.2061	21.5899
384	166.221	28.7091	21.3969	21.6587
385	166.356	28.685	21.3505	21.5472
386	166.557	28.8868	21.3726	21.5892
387	166.701	28.5966	21.3714	21.5446
388	166.91	28.9118	21.3825	21.5255
389	167.077	29.3269	21.4262	21.556
390	167.269	29.3571	21.3961	21.5803
391	167.447	29.6247	21.4029	21.569
392	167.654	29.54	21.4153	21.521
393	167.802	29.5431	21.4326	21.5444
394	167.974	29.5268	21.432	21.5037
395	168.157	29.4758	21.3768	21.5292
396	168.358	29.0074	21.3961	21.5013
397	168.531	29.1777	21.4029	21.5242
398	168.658	29.2912	21.3555	21.4961
399	168.866	29.3529	21.4017	21.4081
400	169.046	29.3828	21.4125	21.438

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
401	169.206	28.9867	21.3944	21.5885
402	169.384	29.3024	21.4098	21.6226
403	169.588	29.133	21.4238	21.6641
404	169.728	29.2009	21.3918	21.6107
405	169.945	28.9713	21.3957	21.6248
406	170.102	28.9139	21.4215	21.5771
407	170.279	29.3218	21.4432	21.529
408	170.441	29.3103	21.4589	21.5466
409	170.619	29.6412	21.4057	21.5316
410	170.803	29.48	21.4692	21.623
411	170.976	29.4294	21.4246	21.5642
412	171.151	29.469	21.4403	21.6363
413	171.309	29.3782	21.3833	21.5758
414	171.48	28.9928	21.4348	21.6008
415	171.687	28.9065	21.4616	21.529
416	171.849	29.272	21.4381	21.523
417	172.006	29.3556	21.4495	21.5514
418	172.183	29.1776	21.503	21.6417
419	172.336	29.3135	21.4803	21.6183
420	172.508	29.3134	21.4123	21.6361
421	172.693	29.3671	21.4378	21.6175
422	172.898	29.5097	21.4829	21.6237
423	173.082	29.7199	21.4931	21.5254
424	173.253	30.0508	21.498	21.5577
425	173.371	29.9859	21.4593	21.5951
426	173.592	30.2826	21.5348	21.6107
427	173.744	29.6595	21.492	21.6899
428	173.909	29.4708	21.5629	21.5742
429	174.082	29.5184	21.5191	21.6181
430	174.263	29.5438	21.5298	21.6352
431	174.417	29.4305	21.4943	21.6054
432	174.603	29.5978	21.4576	21.5474
433	174.798	29.5944	21.5386	21.6697
434	174.927	29.82	21.4846	21.6164
435	175.123	30.0289	21.5239	21.6484
436	175.306	29.8958	21.5434	21.6401
437	175.47	29.5183	21.455	21.6187
438	175.657	29.7086	21.5406	21.6811
439	175.811	29.4671	21.6131	21.8962
440	175.978	29.6066	21.6057	21.7533

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
441	176.148	29.4901	21.591	21.7291
442	176.34	29.7823	21.6014	21.7556
443	176.514	29.885	21.5958	21.6541
444	176.689	29.8624	21.6442	21.7739
445	176.84	30.2516	21.6023	21.7004
446	177.019	29.9679	21.5893	21.8161
447	177.187	29.8002	21.646	21.821
448	177.335	29.7997	21.6288	21.8252
449	177.489	29.7414	21.6504	21.6975
450	177.704	29.9117	21.6569	21.8077
451	177.846	29.9067	21.5768	21.7414
452	178.062	29.7268	21.5834	21.7607
453	178.205	29.6885	21.627	21.768
454	178.356	29.7062	21.6363	21.7273
455	178.534	30.2201	21.6626	21.7852
456	178.683	30.7614	21.7048	21.7835
457	178.863	30.4008	21.6988	21.7964
458	179.051	29.9991	21.6815	21.8102
459	179.189	30.0889	21.6566	21.8367
460	179.343	30.1785	21.7283	21.889
461	179.529	29.9683	21.7414	21.9332
462	179.71	30.0406	21.7376	22.0751
463	179.803	29.8659	21.719	21.9641
464	179.988	29.9975	21.7093	21.9389
465	180.155	30.0022	21.7393	21.9189
466	180.327	30.1902	21.7246	21.9301
467	180.484	30.2346	21.7302	21.894
468	180.662	30.6112	21.713	21.9213
469	180.849	29.7799	21.7338	21.9045
470	180.998	29.9382	21.7157	21.8616
471	181.134	29.8511	21.7582	21.8699
472	181.329	30.1895	21.7437	21.9304
473	181.486	29.8132	21.7342	21.8724
474	181.664	30.4356	21.734	21.8813
475	181.815	30.4673	21.7119	21.8698
476	182.026	30.2598	21.7457	21.8673
477	182.138	29.9006	21.6864	21.847
478	182.324	30.3432	21.7701	21.8865
479	182.479	30.7042	21.737	21.8853
480	182.66	30.5067	21.7578	22.0086

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
481	182.782	30.5612	21.719	21.897
482	182.944	30.4321	21.7215	21.9138
483	183.109	30.5511	21.7517	21.8083
484	183.288	30.4494	21.7212	21.906
485	183.471	30.5861	21.718	22.1843
486	183.602	30.4779	21.7523	21.9644
487	183.823	30.1994	21.8172	21.919
488	183.913	30.3887	21.7885	21.9082
489	184.074	30.7384	21.7686	21.9145
490	184.238	30.0883	21.7737	21.8892
491	184.407	30.2391	21.781	21.8541
492	184.57	30.4022	21.7722	21.8711
493	184.713	30.6201	21.7998	21.9601
494	184.904	30.3224	21.7951	21.912
495	185.051	30.3727	21.7806	21.9971
496	185.215	30.5046	21.8288	21.9132
497	185.371	30.4336	21.819	21.9029
498	185.553	30.6654	21.8123	21.9631
499	185.717	30.3354	21.8107	21.9516
500	185.849	30.5369	21.8136	21.9131
501	186.028	30.6193	21.8459	21.9967
502	186.193	30.7907	21.8197	21.9974
503	186.332	30.3261	21.7913	21.974
504	186.483	30.4808	21.8425	21.9796
505	186.677	30.5796	21.8359	21.9676
506	186.815	31.1312	21.8274	21.9878
507	186.97	31.0106	21.8843	22.0153
508	187.147	31.2359	21.8513	22.0099
509	187.288	30.569	21.7737	22.0527
510	187.417	31.2431	21.7855	22.0449
511	187.62	31.0799	21.8771	22.0774
512	187.787	30.6898	21.9392	22.1074
513	187.943	30.5877	21.933	22.0772
514	188.116	30.849	21.9437	22.0813
515	188.248	30.6325	21.9032	22.1202
516	188.376	30.8463	21.9395	22.1242
517	188.577	31.1497	21.9219	22.1771
518	188.75	30.7167	21.9519	22.0751
519	188.878	30.8476	21.8857	22.0328
520	189.04	31.0254	21.9564	22.0803

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
521	189.195	30.8437	21.8012	22.1775
522	189.363	30.924	21.9595	22.2874
523	189.473	30.9146	21.9236	22.1964
524	189.63	30.8476	21.9991	22.2021
525	189.823	31.0107	22.0043	22.0887
526	189.993	30.7644	21.9826	22.1169
527	190.158	31.2283	21.9714	22.1514
528	190.307	31.7146	21.9298	22.1295
529	190.48	31.2685	21.9266	22.0986
530	190.652	31.3763	21.9308	22.0922
531	190.812	31.542	21.961	22.1028
532	190.974	30.9881	21.9759	22.1083
533	191.129	31.4292	21.9647	22.1254
534	191.278	31.2676	21.9877	22.1175
535	191.455	31.242	22.0122	22.0902
536	191.562	31.034	21.9548	22.1324
537	191.77	31.2106	21.967	22.1941
538	191.881	31.1649	21.9546	22.1565
539	192.09	31.2465	22.03	22.1551
540	192.235	30.9508	22.0166	22.1372
541	192.385	30.7943	21.9753	22.1351
542	192.53	31.0843	21.9698	22.2007
543	192.72	31.0926	22.0046	22.2246
544	192.89	30.8952	22.0087	22.2426
545	192.999	31.5252	22.0044	22.1931
546	193.183	31.4311	22.092	22.2376
547	193.348	31.431	22.0759	22.2459
548	193.505	30.7875	22.0333	22.2033
549	193.651	30.8572	22.0628	22.2342
550	193.812	30.9415	22.0156	22.2294
551	193.954	30.9657	21.9827	22.1818
552	194.136	31.2378	22.021	22.1651
553	194.297	31.0508	22.0263	22.2138
554	194.454	30.9547	22.0371	22.2825
555	194.573	31.0425	22.0421	22.2117
556	194.747	31.04	22.0389	22.2471
557	194.934	30.8186	22.0656	22.2399
558	195.091	30.9096	22.0165	22.1564
559	195.26	31.1174	22.0386	22.2586
560	195.415	31.1619	22.0757	22.2368

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
561	195.557	30.9531	22.0316	22.1939
562	195.706	31.0236	22.0354	22.2167
563	195.866	31.4076	22.1184	22.2583
564	196.047	31.4213	22.1242	22.294
565	196.197	31.5618	22.1012	22.3138
566	196.349	31.3512	22.1615	22.2399
567	196.504	31.4819	22.1342	22.2319
568	196.679	31.2405	22.1026	22.2872
569	196.785	31.0002	22.0791	22.2598
570	196.945	31.256	22.0458	22.2842
571	197.135	31.379	22.1225	22.2834
572	197.269	31.5259	22.0932	22.3064
573	197.436	31.606	22.0923	22.3318
574	197.599	31.3291	22.1359	22.2836
575	197.759	31.2474	22.1626	22.3277
576	197.916	31.474	22.1451	22.4364
577	198.054	31.5288	22.0648	22.2641
578	198.192	31.679	22.0763	22.282
579	198.371	31.2983	22.1601	22.331
580	198.529	31.6756	22.2026	22.3477
581	198.68	31.701	22.2716	22.4592
582	198.849	31.8485	22.3124	22.3908
583	199.005	31.744	22.308	22.3569
584	199.17	31.9763	22.252	22.4356
585	199.328	31.7769	22.2292	22.4303
586	199.467	31.7814	22.1829	22.4155
587	199.623	31.5084	22.2486	22.4115
588	199.8	32.1298	22.3526	22.5372
589	199.975	31.9827	22.3487	22.5095
590	200.132	31.9963	22.2931	22.4801
591	200.252	31.6788	22.2782	22.5235
592	200.402	31.3471	22.2004	22.4043
593	200.582	31.3926	22.2611	22.4963
594	200.724	31.9576	22.2181	22.3947
595	200.879	31.9209	22.2266	22.5604
596	201.024	32.2035	22.1891	22.5093
597	201.213	31.7793	22.2438	22.4159
598	201.351	31.6551	22.2019	22.3922
599	201.518	32.0993	22.2296	22.3671
600	201.646	32.2471	22.212	22.2963

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
601	201.796	32.232	22.1686	22.3216
602	201.952	32.3386	22.1802	22.3822
603	202.128	32.0321	22.2098	22.3417
604	202.288	31.9666	22.264	22.3144
605	202.438	32.0678	22.2051	22.4266
606	202.584	31.9779	22.2162	22.402
607	202.743	31.9096	22.0205	22.2011
608	202.887	31.991	21.9964	22.3005
609	203.048	31.7201	21.9684	22.2136
610	203.24	31.8913	21.7753	22.1235
611	203.393	31.8653	22.0184	22.256
612	203.504	32.2027	22.1275	22.2373
613	203.666	31.9702	22.162	22.3134
614	203.868	32.1608	22.2256	22.3115
615	204.008	32.1372	22.2182	22.3383
616	204.123	32.2473	22.2395	22.23
617	204.299	32.1034	22.2326	22.3687
618	204.442	32.3908	22.2296	22.4022
619	204.589	32.0877	22.2176	22.3203
620	204.728	32.4846	22.1856	22.2337
621	204.923	32.2895	22.2093	22.3026
622	205.087	32.3293	22.2679	22.347
623	205.233	32.2621	22.301	22.3812
624	205.381	31.9118	22.2234	22.3194
625	205.539	32.1795	22.2812	22.4323
626	205.706	32.5962	22.2721	22.5671
627	205.844	32.5632	22.3013	22.4555
628	206.001	32.3822	22.2741	22.2956
629	206.167	32.4283	22.2522	22.3416
630	206.304	32.8561	22.3008	22.6155
631	206.477	32.1351	22.2808	22.6075
632	206.637	32.6342	22.2871	22.7049
633	206.801	32.1564	22.2871	22.6326
634	206.911	32.1286	22.2876	22.603
635	207.081	31.9183	22.2715	22.5528
636	207.21	32.0937	22.2597	22.4857
637	207.382	32.1586	22.3074	22.5826
638	207.521	32.1464	22.2632	22.5629
639	207.697	32.1271	22.3251	22.6097
640	207.839	32.8198	22.3673	22.5664

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
641	207.98	32.4481	22.3485	22.6376
642	208.134	32.8745	22.2945	22.6045
643	208.25	32.3724	22.2844	22.5306
644	208.434	32.6986	22.4054	22.582
645	208.522	32.6223	22.3247	22.5128
646	208.677	32.9134	22.2956	22.5054
647	208.864	32.7727	22.354	22.4988
648	209.04	32.6317	22.3309	22.5738
649	209.153	32.2202	22.2662	22.572
650	209.32	32.4042	22.3472	22.5736
651	209.494	32.5317	22.3646	22.6007
652	209.624	32.7496	22.3078	22.5051
653	209.729	32.8392	22.2916	22.5668
654	209.918	32.5449	22.3174	22.5634
655	210.083	33.0198	22.4322	22.5572
656	210.22	33.2489	22.3795	22.6574
657	210.371	32.9216	22.3492	22.6462
658	210.514	32.4335	22.4362	22.5932
659	210.622	33.1397	22.391	22.6056
660	210.693	33.5051	22.4321	22.6342
661	210.791	33.5413	22.4167	22.6361
662	210.818	33.3415	22.5268	22.5741
663	210.765	33.1309	22.4292	22.5481
664	210.728	33.2088	22.4364	22.5253
665	210.685	33.2969	22.4611	22.651
666	210.605	33.5672	22.4676	22.6559
667	210.542	33.5064	22.5269	22.6443
668	210.413	33.9039	22.4664	22.649
669	210.262	33.215	22.4859	22.6715
670	210.109	33.4867	22.5312	22.6127
671	209.922	33.675	22.5225	22.6053
672	209.776	33.734	22.48	22.6494
673	209.587	33.7925	22.4879	22.6919
674	209.43	33.8634	22.5057	22.6955
675	209.264	34.3371	22.551	22.7103
676	209.06	34.0374	22.4746	22.6883
677	208.983	33.7156	22.4871	22.6791
678	208.865	33.6678	22.5721	22.749
679	208.809	34.1411	22.4782	22.6966
680	208.797	33.6871	22.5381	22.7273

ANEXO R-2

Tabla de resultados obtenidos en la 2ª Corrida. (04-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
681	208.774	33.8725	22.53	22.7648
682	208.773	33.9466	22.4828	22.712
683	208.819	33.6396	22.5688	22.7674
684	208.852	33.7792	22.563	22.7331
685	208.911	34.0556	22.6045	22.785
686	208.968	33.9471	22.5744	22.59
687	208.979	33.5069	22.5463	22.5971
688	209.114	33.4839	22.5879	22.7093
689	209.216	33.6614	22.5607	22.7941
690	209.297	33.2594	22.5121	22.6543
691	209.409	33.0645	22.436	22.7278
692	209.534	32.9931	22.5146	22.8275
693	209.606	32.8085	22.4525	22.6766
694	209.748	32.7034	22.4894	22.7847
695	209.864	32.5528	22.5284	22.6795
696	209.974	32.5715	22.6772	22.8155
697	210.12	32.9864	22.6202	22.8523
698	210.248	32.9281	22.6745	22.8669
699	210.347	33.5367	22.6534	22.7353
700	210.527	33.417	22.6548	22.764
701	210.654	33.7128	22.6684	22.7649
702	210.774	33.7913	22.6544	22.8217
703	210.82	33.6964	22.7176	22.8585
704	210.802	33.7364	22.6667	22.8427
705	210.809	33.6604	22.6645	22.8376
706	210.77	33.7208	22.6422	22.8765
707	210.723	33.6255	22.5504	22.8929
708	210.658	34.0153	22.6171	22.858
709	210.528	33.8821	22.67	22.8582
710	210.436	33.1622	22.5756	22.6445
711	210.275	32.9068	22.52	22.6323
712	210.142	33.381	22.6006	22.6693
713	209.956	33.278	22.5915	22.5677
714	209.792	33.4178	22.7013	22.7859

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
0	77.9392	23.3819	21.1907	21.2652
1	78.2129	23.3745	21.2856	21.3309
2	78.4853	23.4338	21.2518	21.3721
3	78.7326	23.4744	21.2124	21.2893
4	79.0301	23.4755	21.3002	21.3507
5	79.371	23.5914	21.2203	21.4572
6	79.6575	23.5674	21.2435	21.4285
7	79.9831	23.5371	21.1148	21.256
8	80.3198	23.364	21.1344	21.3662
9	80.6697	23.4078	21.2101	21.555
10	81.023	23.5443	21.1797	21.4034
11	81.4213	23.6782	21.2057	21.3892
12	81.8103	23.7361	21.1884	21.3512
13	82.1669	23.7905	21.2119	21.3535
14	82.5726	23.795	21.208	21.3392
15	82.9569	23.8388	21.2132	21.3463
16	83.3543	23.9235	21.2131	21.3542
17	83.7732	23.9425	21.184	21.5167
18	84.2062	23.9872	21.2421	21.4332
19	84.6124	24.0226	21.2344	21.4934
20	85.0074	23.9433	21.1914	21.5656
21	85.4362	24.0779	21.2588	21.466
22	85.8626	24.147	21.2509	21.4496
23	86.2679	24.1251	21.2539	21.4455
24	86.7134	24.1391	21.2562	21.5402
25	87.1165	24.1838	21.2314	21.4225
26	87.5505	24.2295	21.1862	21.3957
27	87.9672	24.2144	21.197	21.4457
28	88.4151	24.2334	21.2794	21.7596
29	88.8162	24.0887	21.2754	21.6886
30	89.2652	24.0506	21.2894	21.4933
31	89.6738	24.1569	21.2793	21.5544
32	90.0945	24.2675	21.2122	21.5104
33	90.5267	24.3466	21.2456	21.7023
34	90.9685	24.4248	21.2365	21.5375
35	91.3635	24.2866	21.2291	21.4707
36	91.8001	24.3246	21.2649	21.6697
37	92.2238	24.3128	21.2332	21.5437
38	92.6239	24.3771	21.2668	21.5386
39	93.0678	24.4448	21.28	21.6091
40	93.4973	24.4433	21.2754	21.6038

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
41	93.9429	24.4573	21.2805	21.5584
42	94.3448	24.5408	21.2896	21.6156
43	94.7524	24.6009	21.3199	21.619
44	95.2141	24.6544	21.3455	21.6856
45	95.6231	24.6051	21.3378	21.6553
46	96.0546	24.7176	21.3157	21.6855
47	96.4563	24.7209	21.383	21.5486
48	96.8691	24.7794	21.3466	21.5565
49	97.2808	24.8477	21.3412	21.583
50	97.6895	24.862	21.3599	21.6024
51	98.122	24.93	21.398	21.5699
52	98.516	24.8794	21.389	21.5947
53	98.945	24.9362	21.3759	21.5561
54	99.3612	24.8506	21.3802	21.6137
55	99.7472	24.8571	21.3585	21.5628
56	100.173	24.8353	21.4264	21.6653
57	100.59	24.8656	21.4454	21.6138
58	100.998	24.9645	21.479	21.6495
59	101.373	25.0764	21.5179	21.6351
60	101.811	25.1527	21.5629	21.6033
61	102.203	25.1218	21.5492	21.6719
62	102.613	25.1028	21.5108	21.6143
63	103.04	25.2282	21.4935	21.8191
64	103.418	25.2219	21.5136	21.681
65	103.846	25.3597	21.5621	21.6656
66	104.253	25.359	21.5699	21.6986
67	104.662	25.3671	21.5536	21.7436
68	105.03	25.3297	21.5116	21.6531
69	105.463	25.3506	21.5409	21.6758
70	105.858	25.4945	21.5417	21.6966
71	106.256	25.4663	21.48	21.7113
72	106.648	25.4295	21.4884	21.7093
73	107.059	25.329	21.5874	21.7727
74	107.445	25.2511	21.6363	21.8226
75	107.854	25.4526	21.61	21.7447
76	108.234	25.6532	21.6161	21.7277
77	108.619	25.6863	21.5741	21.741
78	109.022	25.7539	21.5739	21.7403
79	109.408	25.7534	21.5871	21.734
80	109.812	25.7634	21.5608	21.7836

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
81	110.161	25.7753	21.5488	21.8326
82	110.597	25.829	21.6131	21.8432
83	110.998	25.7718	21.6316	21.8042
84	111.392	25.8643	21.5723	21.8696
85	111.749	25.8497	21.5616	21.8259
86	112.131	25.864	21.5322	21.7571
87	112.564	25.8709	21.5702	21.8383
88	112.932	25.9132	21.5938	22.0164
89	113.336	25.8182	21.6225	21.997
90	113.691	25.9908	21.6407	21.8989
91	114.051	26.0002	21.6013	21.8212
92	114.429	25.7721	21.6981	22.2892
93	114.83	25.8602	21.8117	21.9967
94	115.168	25.8215	21.675	21.8641
95	115.587	26.1061	21.7206	21.8076
96	115.924	25.9563	21.6991	21.9975
97	116.358	25.9659	21.7206	21.8943
98	116.728	26.0823	21.7178	21.885
99	117.083	26.2961	21.7056	21.8605
100	117.489	26.4022	21.6771	21.8767
101	117.863	26.301	21.6939	21.852
102	118.215	26.1314	21.7075	21.8972
103	118.596	26.2678	21.7176	22.0061
104	118.985	26.3639	21.6459	21.9238
105	119.342	26.2742	21.6784	21.9044
106	119.707	26.2958	21.7148	22.0172
107	120.074	26.3627	21.7927	22.0545
108	120.479	26.3444	21.8115	22.0198
109	120.828	26.3376	21.7879	21.9371
110	121.222	26.3987	21.747	22.0016
111	121.542	26.5869	21.6908	21.8977
112	121.933	26.6849	21.756	21.8157
113	122.288	26.7133	21.7329	21.8983
114	122.702	26.8121	21.829	22.0173
115	123.004	26.7553	21.7301	21.9613
116	123.384	26.7078	21.6215	21.9353
117	123.761	26.5303	21.7444	22.0364
118	124.117	26.6102	21.7002	21.9086
119	124.492	26.6041	21.6732	21.8493
120	124.872	26.5343	21.6954	21.9474

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
121	125.212	26.6801	21.7698	21.9803
122	125.572	26.6933	21.7434	21.956
123	125.945	26.4605	21.7708	21.9895
124	126.306	26.701	21.7599	22.0309
125	126.657	26.7335	21.767	21.9327
126	126.973	26.741	21.7347	21.9989
127	127.354	26.7809	21.7836	21.9612
128	127.735	26.9879	21.7783	22.0224
129	128.094	27.0631	21.8282	22.1242
130	128.445	27.0158	21.799	22.0405
131	128.774	27.0865	21.7837	22.0644
132	129.164	26.9876	21.8249	21.989
133	129.523	26.9119	21.7887	22.0724
134	129.858	27.1087	21.838	22.0668
135	130.181	27.1474	21.8135	21.9551
136	130.542	26.9583	21.8245	22.0057
137	130.902	27.0718	21.7932	22.0547
138	131.279	27.272	21.865	22.0189
139	131.625	27.2218	21.9045	22.0737
140	131.962	27.3204	21.9597	22.1484
141	132.276	27.4159	21.9305	22.179
142	132.65	27.2741	21.8962	22.1372
143	132.983	27.3633	21.9074	22.0867
144	133.353	27.3385	21.9395	22.1158
145	133.707	27.2306	22.0084	22.0986
146	134.052	27.4444	21.9998	22.136
147	134.357	27.5431	21.9029	22.1741
148	134.731	27.5625	21.9266	22.2808
149	135.057	27.5858	21.945	22.112
150	135.402	27.6217	21.969	22.1061
151	135.7	27.8185	21.893	22.1703
152	136.063	27.4137	21.9345	22.2099
153	136.388	27.2557	21.9081	22.2747
154	136.751	27.3131	21.9252	22.1742
155	137.07	27.6597	21.9892	22.1437
156	137.412	27.5032	21.9667	22.088
157	137.753	27.335	22.0065	22.1485
158	138.094	27.6389	21.9496	22.197
159	138.46	27.6486	21.9506	22.515
160	138.765	27.6321	21.9906	22.2725

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
161	139.079	27.8057	22.031	22.2946
162	139.427	27.7903	22.0959	22.3038
163	139.773	27.979	21.9843	22.1858
164	140.091	27.895	22.0515	22.2239
165	140.446	27.9735	22.077	22.3156
166	140.75	27.9066	22.0192	22.2882
167	141.08	27.9572	22.0825	22.2261
168	141.411	27.8573	22.0056	22.2055
169	141.73	27.7115	22.0278	22.2019
170	142.032	27.9108	22.0183	22.3016
171	142.365	27.8257	22.0488	22.2518
172	142.691	27.7524	22.0287	22.3471
173	142.99	27.7761	22.0542	22.2675
174	143.324	27.7907	22.1057	22.2105
175	143.687	27.8787	22.1455	22.2738
176	144.002	27.9221	22.127	22.2243
177	144.329	27.9394	22.0498	22.29
178	144.665	28.0487	22.1605	22.2238
179	144.999	28.1964	22.2215	22.2551
180	145.34	28.0695	22.214	22.2597
181	145.639	27.974	22.1847	22.3502
182	145.909	28.0097	22.1325	22.259
183	146.248	27.9344	22.1306	22.25
184	146.547	27.9731	22.1866	22.2775
185	146.88	28.016	22.1839	22.3101
186	147.203	28.0535	22.2508	22.2715
187	147.513	28.4254	22.1955	22.2438
188	147.806	28.4966	22.1991	22.412
189	148.127	28.5274	22.184	22.3834
190	148.421	28.5116	22.1425	22.3575
191	148.72	28.4377	22.1583	22.2763
192	149.078	28.389	22.1905	22.3252
193	149.396	28.3065	22.2525	22.4208
194	149.696	28.3468	22.2257	22.2954
195	150.012	28.2657	22.2147	22.2571
196	150.319	28.5013	22.2306	22.3697
197	150.61	28.6449	22.2254	22.263
198	150.913	28.6845	22.2294	22.3043
199	151.222	28.6489	22.2276	22.3265
200	151.546	28.6213	22.322	22.3554

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
201	151.86	28.7181	22.252	22.3382
202	152.123	28.6114	22.2675	22.2917
203	152.443	28.6481	22.2684	22.3595
204	152.726	28.8143	22.268	22.442
205	153.028	28.6673	22.285	22.3493
206	153.315	28.6096	22.259	22.357
207	153.652	28.8043	22.2739	22.4498
208	153.91	29.1118	22.2191	22.2829
209	154.237	29.0348	22.2799	22.3362
210	154.547	28.745	22.291	22.3421
211	154.813	28.8894	22.316	22.3315
212	155.128	28.944	22.3103	22.4881
213	155.406	28.8007	22.2832	22.4221
214	155.684	28.7723	22.2923	22.3869
215	155.975	28.7342	22.314	22.4255
216	156.278	28.9313	22.3257	22.5333
217	156.577	28.7895	22.315	22.4426
218	156.859	28.7783	22.3019	22.4194
219	157.149	28.7543	22.317	22.4439
220	157.438	28.7667	22.3331	22.4067
221	157.768	29.0104	22.3179	22.3892
222	158.035	29.2358	22.344	22.478
223	158.289	29.2623	22.3	22.4537
224	158.56	29.6374	22.3553	22.497
225	158.86	29.3352	22.3815	22.4893
226	159.152	29.1317	22.3615	22.5367
227	159.419	29.1976	22.3766	22.5574
228	159.731	28.9747	22.3734	22.51
229	159.982	29.1392	22.4005	22.5038
230	160.292	29.0573	22.4478	22.5033
231	160.558	29.5807	22.4379	22.521
232	160.857	29.448	22.4371	22.5654
233	161.149	29.4787	22.3468	22.5507
234	161.434	29.4304	22.3515	22.448
235	161.699	29.0604	22.3916	22.5208
236	161.978	29.3496	22.4322	22.599
237	162.265	29.4818	22.5023	22.6776
238	162.554	29.5256	22.4613	22.5952
239	162.853	29.5902	22.4619	22.5158
240	163.077	29.5038	22.4638	22.5603

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
241	163.358	29.178	22.4596	22.5299
242	163.638	29.4253	22.46	22.5953
243	163.929	29.4681	22.4514	22.5801
244	164.182	29.6908	22.48	22.6042
245	164.495	29.5979	22.5528	22.6255
246	164.8	29.566	22.5743	22.6313
247	165.057	29.5926	22.5411	22.6303
248	165.319	29.7537	22.5808	22.6923
249	165.563	29.5754	22.58	22.6231
250	165.844	29.7453	22.5516	22.6641
251	166.122	29.4837	22.5806	22.7039
252	166.414	29.6845	22.6035	22.6631
253	166.721	29.6871	22.5657	22.6934
254	166.961	29.8171	22.4694	22.6496
255	167.224	29.6667	22.5275	22.7071
256	167.445	29.4958	22.4774	22.6379
257	167.739	29.5933	22.5168	22.6441
258	168.023	29.6533	22.53	22.6556
259	168.277	30.0046	22.5854	22.6393
260	168.572	30.1153	22.5786	22.6972
261	168.845	30.0009	22.5504	22.6789
262	169.093	29.9883	22.5672	22.7375
263	169.35	29.8104	22.5657	22.7563
264	169.597	29.6541	22.5359	22.7248
265	169.856	29.8938	22.5405	22.7261
266	170.158	30.2639	22.5846	22.8001
267	170.434	30.2142	22.5764	22.6875
268	170.663	30.0577	22.5151	22.7043
269	170.892	29.8125	22.5111	22.6607
270	171.177	29.9427	22.6004	22.7515
271	171.43	29.774	22.5393	22.6708
272	171.686	29.967	22.5379	22.775
273	171.937	30.159	22.614	22.7575
274	172.19	30.1377	22.5573	22.7966
275	172.452	29.91	22.5625	22.7719
276	172.7	29.9442	22.6013	22.8142
277	172.979	30.0069	22.6016	22.74
278	173.243	30.0414	22.5752	22.802
279	173.497	30.5215	22.6079	22.8445
280	173.724	30.5065	22.5663	22.7785

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
281	173.972	30.4041	22.6004	22.7882
282	174.233	30.4753	22.6209	22.7727
283	174.492	30.3181	22.6415	22.8217
284	174.73	30.213	22.6614	22.8228
285	174.998	30.224	22.6509	22.8612
286	175.23	29.9836	22.601	22.8142
287	175.504	30.1855	22.6036	22.7727
288	175.751	30.1458	22.602	22.8271
289	175.999	30.4879	22.6428	22.8094
290	176.219	30.7852	22.6487	22.8837
291	176.487	30.8244	22.6276	22.7839
292	176.734	30.6352	22.6291	22.8281
293	177.017	30.5289	22.6514	22.8591
294	177.213	30.498	22.6425	22.8909
295	177.487	30.5734	22.7149	22.9299
296	177.709	30.7691	22.7137	22.8911
297	177.967	30.9331	22.718	22.9017
298	178.185	30.8658	22.7255	22.8707
299	178.486	30.8202	22.7038	22.8381
300	178.709	30.6138	22.6874	22.9358
301	178.967	30.6134	22.6866	22.9449
302	179.213	30.8084	22.7775	22.9153
303	179.416	30.7486	22.7317	22.8876
304	179.661	30.3461	22.707	22.9175
305	179.916	30.4275	22.7492	22.9169
306	180.141	30.4839	22.739	22.9277
307	180.374	30.8941	22.7477	22.9323
308	180.657	30.9605	22.7386	22.9646
309	180.853	30.7966	22.6667	22.8963
310	181.122	30.8149	22.7464	22.9402
311	181.37	30.8874	22.8079	22.9391
312	181.617	30.9872	22.753	22.9809
313	181.826	30.9518	22.7914	22.94
314	182.043	31.1772	22.7758	22.9513
315	182.31	31.1272	22.8073	23.0278
316	182.528	31.0781	22.8502	22.9803
317	182.8	30.8232	22.8532	22.8384
318	183.044	30.7145	22.8361	22.9339
319	183.264	30.7832	22.8344	23.0019
320	183.487	31.2626	22.8652	23.136

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
321	183.689	31.1663	22.7257	22.9867
322	183.915	31.424	22.878	22.9591
323	184.174	31.8143	22.7886	23.0127
324	184.404	31.6217	22.8121	23.0284
325	184.605	31.2703	22.8649	22.9548
326	184.875	31.2858	22.8918	23.0524
327	185.089	31.2171	22.8762	22.9858
328	185.338	31.3585	22.9084	23.0845
329	185.566	31.7181	22.9016	23.0834
330	185.809	31.5046	22.869	23.0178
331	186.003	31.4855	22.8929	23.1179
332	186.264	31.3416	22.842	23.0962
333	186.454	31.359	22.8219	23.0841
334	186.664	31.2496	22.8591	23.0507
335	186.905	31.4931	22.8058	23.1234
336	187.116	31.4837	22.9105	23.068
337	187.387	31.3562	22.8966	23.0694
338	187.582	31.3814	22.8539	23.1348
339	187.805	31.2987	22.8682	23.0787
340	188.017	31.4401	22.9	23.0975
341	188.264	31.6596	22.9199	23.1427
342	188.475	31.7335	22.9154	23.15
343	188.686	31.556	22.9037	23.0398
344	188.903	31.3744	22.8961	23.0992
345	189.144	31.666	22.9127	23.1807
346	189.376	31.5481	22.9248	23.1811
347	189.579	31.635	22.9279	23.1618
348	189.779	31.535	22.8964	23.1146
349	190.019	31.7753	22.8982	23.1742
350	190.265	31.6036	22.9376	23.2255
351	190.478	32.0188	22.9561	23.1239
352	190.677	32.032	22.9862	23.178
353	190.894	32.0156	23.038	23.2001
354	191.124	31.8538	23.0926	23.174
355	191.329	31.9453	23.1177	23.1899
356	191.558	32.2166	23.1354	23.181
357	191.762	31.7479	23.0676	23.1783
358	191.998	31.639	23.0317	23.2024
359	192.241	31.9845	23.1409	23.2187
360	192.444	32.0951	23.0277	23.0529

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
361	192.669	32.0886	22.9433	23.1542
362	192.899	32.2319	22.9845	23.2621
363	193.102	32.1782	23.0753	23.2826
364	193.299	32.0577	23.0571	23.2097
365	193.564	31.8164	23.1568	23.2525
366	193.753	31.9591	23.119	23.2605
367	193.934	32.0439	23.1004	23.2409
368	194.168	32.1674	23.1299	23.2533
369	194.396	32.2189	23.1544	23.2287
370	194.624	32.3431	23.1498	23.2095
371	194.819	31.9321	23.1626	23.2068
372	195.057	32.1229	23.198	23.2448
373	195.265	32.1339	23.22	23.2414
374	195.449	32.3491	23.2419	23.2668
375	195.692	32.1974	23.1141	23.2984
376	195.932	32.2199	23.2057	23.2931
377	196.121	32.394	23.2191	23.2733
378	196.319	32.3486	23.1841	23.2856
379	196.551	32.4464	23.1954	23.3449
380	196.728	32.6762	23.2206	23.3033
381	196.987	32.7519	23.2553	23.3
382	197.198	32.3766	23.2387	23.3176
383	197.375	32.1342	23.2089	23.3263
384	197.603	32.3248	23.2137	23.3023
385	197.813	32.5105	23.3057	23.3315
386	198.001	32.3827	23.2476	23.4087
387	198.228	32.403	23.3018	23.3439
388	198.439	32.3992	23.3482	23.4053
389	198.663	32.8379	23.3045	23.366
390	198.836	32.7693	23.3339	23.3355
391	199.067	32.9048	23.3431	23.3683
392	199.248	32.9251	23.3493	23.3972
393	199.478	32.8587	23.2874	23.3694
394	199.656	32.6641	23.2853	23.4237
395	199.851	32.6756	23.2562	23.5085
396	200.081	32.75	23.369	23.4968
397	200.293	32.748	23.3615	23.5104
398	200.505	32.5581	23.2893	23.446
399	200.694	32.7053	23.2898	23.4399
400	200.907	32.7941	23.2669	23.4114

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
401	201.13	32.7939	23.2565	23.444
402	201.318	32.7455	23.2243	23.3533
403	201.522	32.8236	23.287	23.4141
404	201.722	32.7918	23.3014	23.4654
405	201.946	32.7363	23.2859	23.4344
406	202.146	33.1053	23.2845	23.4943
407	202.303	33.1207	23.1955	23.3644
408	202.523	32.9634	23.287	23.3935
409	202.72	32.7203	23.2397	23.4338
410	202.937	32.4268	23.2135	23.4511
411	203.119	32.4489	23.2607	23.3192
412	203.338	32.7949	23.3274	23.4263
413	203.541	32.6888	23.3098	23.4622
414	203.74	32.9759	23.2905	23.454
415	203.941	33.047	23.277	23.468
416	204.133	32.887	23.234	23.5216
417	204.302	32.8635	23.2115	23.3797
418	204.51	33.2352	23.2555	23.4359
419	204.692	33.2321	23.2721	23.4936
420	204.891	33.2024	23.4124	23.4781
421	205.065	33.5791	23.3377	23.7027
422	205.271	33.5921	23.3954	23.7307
423	205.463	33.6511	23.4145	23.7459
424	205.67	33.557	23.4507	23.6716
425	205.871	33.6975	23.4389	23.8188
426	206.049	33.7204	23.5551	23.6325
427	206.234	33.1237	23.4194	23.4325
428	206.418	33.4779	23.5235	23.6726
429	206.637	33.5694	23.5228	23.6637
430	206.831	33.5276	23.5547	23.7836
431	207.022	33.6328	23.5222	23.7781
432	207.19	33.5738	23.4319	23.7189
433	207.372	33.8203	23.5007	23.6594
434	207.603	33.7025	23.5227	23.7068
435	207.791	33.287	23.3956	23.637
436	207.973	33.0913	23.2789	23.3816
437	208.166	33.0156	23.205	23.15
438	208.342	33.0876	23.3142	23.3283
439	208.569	33.3285	23.3635	23.6937
440	208.681	33.2876	23.3036	23.6578

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
441	208.9	33.3635	23.4635	23.5692
442	209.117	33.8237	23.3538	23.6484
443	209.246	33.968	23.3468	23.5546
444	209.462	33.6665	23.4807	23.5359
445	209.63	33.6036	23.5034	23.5584
446	209.767	33.4466	23.4417	23.4972
447	209.978	33.4065	23.3239	23.5572
448	210.17	33.3479	23.4972	23.5434
449	210.344	33.4261	23.5888	23.6285
450	210.508	33.4396	23.6302	23.5199
451	210.728	33.3695	23.6122	23.5345
452	210.877	33.9157	23.5148	23.5123
453	211.02	33.4676	23.4942	23.493
454	211.108	33.6292	23.4622	23.5543
455	211.157	33.6816	23.3743	23.3682
456	211.198	33.7741	23.403	23.4324
457	211.195	33.5164	23.2473	23.3613
458	211.166	33.5677	23.3601	23.2906
459	211.126	33.9516	23.3639	23.3695
460	211.036	33.5237	23.4897	23.4108
461	210.946	33.5662	23.391	23.4627
462	210.832	33.8842	23.4387	23.2973
463	210.718	34.2047	23.3839	23.34
464	210.578	34.0483	23.3943	23.3972
465	210.441	33.8385	23.3671	23.4698
466	210.284	33.7466	23.3284	23.4336
467	210.1	33.686	23.3076	23.34
468	209.943	34.0161	23.3175	23.3302
469	209.776	33.8363	23.3484	23.3621
470	209.607	33.5031	23.3092	23.3754
471	209.408	33.6926	23.2937	23.3759
472	209.226	33.9591	23.3377	23.3266
473	209.092	34.2176	23.314	23.3793
474	208.919	34.2876	23.2865	23.282
475	208.841	33.9564	23.232	23.3236
476	208.8	34.4579	23.2805	23.2737
477	208.754	34.1001	23.2514	23.2674
478	208.768	34.2707	23.2703	23.3561
479	208.716	34.2132	23.1997	23.2164
480	208.77	33.9384	23.1983	23.2004

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
481	208.832	33.9138	23.1412	23.2852
482	208.868	33.6854	23.2325	23.3801
483	208.953	34.0047	23.2098	23.3103
484	209	33.9088	23.2601	23.2987
485	209.125	33.929	23.258	23.3066
486	209.215	33.6285	23.203	23.313
487	209.328	33.481	23.2006	23.3495
488	209.453	33.5322	23.209	23.3361
489	209.528	33.3773	23.2559	23.3468
490	209.663	33.6819	23.2902	23.3877
491	209.757	34.0982	23.3042	23.3559
492	209.895	34.387	23.2286	23.3904
493	210.002	34.1945	23.253	23.339
494	210.171	33.6243	23.2377	23.4111
495	210.321	33.941	23.2935	23.415
496	210.46	34.5109	23.2713	23.3014
497	210.565	34.1449	23.2037	23.3642
498	210.68	34.3855	23.2397	23.2036
499	210.75	34.3997	23.2136	23.258
500	210.783	34.2077	23.1995	23.1671
501	210.772	34.4444	23.215	23.2235
502	210.77	34.3782	23.2238	23.1914
503	210.714	34.3259	23.2138	23.2051
504	210.64	33.7762	23.192	23.1918
505	210.543	33.7268	23.1829	23.1824
506	210.458	33.8731	23.2601	23.1851
507	210.312	33.8695	23.1878	23.2442
508	210.175	34.0898	23.1954	23.2171
509	210.047	33.9911	23.2087	23.2228
510	209.891	33.704	23.1488	23.2637
511	209.702	33.6802	23.2603	23.2049
512	209.567	34.0908	23.4002	23.2794
513	209.333	33.7661	23.4228	23.2156
514	209.195	33.7772	23.3812	23.2776
515	209.039	33.8255	23.4046	23.3597
516	208.917	33.708	23.2474	23.3221
517	208.824	33.7689	23.2967	23.3049
518	208.796	34.1491	23.3088	23.3445
519	208.754	34.1308	23.466	23.2644
520	208.746	33.8527	23.5174	23.3166

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
521	208.721	34.1959	23.5084	23.3263
522	208.756	34.1336	23.491	23.3989
523	208.861	34.1062	23.3992	23.3283
524	208.833	33.7395	23.3397	23.335
525	208.954	33.9553	23.3749	23.2967
526	209.025	34.0527	23.4503	23.4174
527	209.137	33.8808	23.4075	23.3156
528	209.217	33.9429	23.4324	23.2816
529	209.336	33.7469	23.2792	23.3417
530	209.471	33.7194	23.2115	23.2973
531	209.602	33.7346	23.2898	23.3617
532	209.704	33.9907	23.3134	23.2946
533	209.827	34.0381	23.2472	23.3591
534	209.947	34.2464	23.2803	23.4337
535	210.1	34.1288	23.3789	23.4254
536	210.275	34.2523	23.3707	23.502
537	210.383	34.1205	23.4135	23.3676
538	210.538	33.7143	23.3997	23.3048
539	210.715	34.0272	23.4874	23.5005
540	210.766	34.0996	23.4684	23.4818
541	210.858	34.0583	23.4379	23.3978
542	210.863	34.038	23.4066	23.5092
543	210.879	33.983	23.4655	23.5216
544	210.849	34.309	23.5313	23.4523
545	210.822	34.12	23.4768	23.4684
546	210.747	34.0406	23.4219	23.4362
547	210.664	34.2142	23.4778	23.4348
548	210.555	34.1973	23.5507	23.3647
549	210.442	33.8304	23.4996	23.5355
550	210.328	34.1376	23.3407	23.5969
551	210.199	33.967	23.3237	23.4311
552	210.001	34.3291	23.3975	23.276
553	209.859	34.3732	23.4995	23.3867
554	209.67	34.2088	23.5009	23.2659
555	209.471	33.9491	23.5407	23.3446
556	209.319	34.0616	23.528	23.3302
557	209.14	33.6286	23.372	23.3589
558	208.972	33.8603	23.4226	23.4033
559	208.832	34.0105	23.3075	23.3872
560	208.775	33.713	23.4461	23.4992

ANEXO R-3

Tabla de resultados obtenidos en la 3ª Corrida. (05-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
561	208.731	33.9422	23.3678	23.3826
562	208.679	33.7187	23.2931	23.2724
563	208.684	33.7258	23.4117	23.3891

ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
0	70.048	24.6861	22.7089	22.6134
1	70.105	24.7294	22.7486	22.6922
2	70.1388	24.6318	22.7467	22.5975
3	70.2789	24.6457	22.7282	22.5912
4	70.4372	24.6789	22.6527	22.6951
5	70.6208	24.658	22.7353	22.891
6	70.8737	24.6969	22.8049	22.8367
7	71.1208	24.7382	22.7283	22.9983
8	71.3776	24.7398	22.7582	23.1255
9	71.7094	24.6724	22.7634	23.0999
10	71.9792	24.6784	22.768	22.9374
11	72.3148	24.7193	22.7287	23.0269
12	72.6815	24.7124	22.7942	23.1877
13	73.0291	24.7221	22.7404	22.9633
14	73.3943	24.665	22.7641	22.9742
15	73.8067	24.6069	22.86	22.7602
16	74.1937	24.6857	22.8583	22.8609
17	74.5749	24.7379	22.8223	22.9039
18	74.9623	24.7579	22.7401	23.105
19	75.3905	24.7865	22.7525	23.0742
20	75.8092	24.8241	22.8292	23.0944
21	76.2264	24.8178	22.8687	23.0608
22	76.6356	24.8354	22.8661	23.1614
23	77.0411	24.7537	22.8723	23.266
24	77.4778	24.7971	22.8213	23.1042
25	77.8931	24.7508	22.8087	23.1971
26	78.3874	24.8171	22.816	23.4083
27	78.8203	24.8712	22.8473	23.0867
28	79.2278	24.8832	22.8128	23.1716
29	79.6852	24.9795	22.7764	23.2567
30	80.0932	24.9361	22.7624	23.2216
31	80.575	24.9762	22.8462	23.3356
32	80.9975	25.006	22.8009	23.4633
33	81.4165	25.0563	22.8326	23.4695
34	81.873	25.0685	22.775	23.3317
35	82.3127	25.062	22.903	23.2425
36	82.7435	24.9502	22.8368	23.2997
37	83.1739	24.9793	22.843	23.0591
38	83.6522	25.0393	22.97	23.0382
39	84.0753	25.0377	22.841	23.1146
40	84.503	25.0625	22.8118	23.3851

ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
41	84.9839	25.0524	22.8282	23.3672
42	85.4126	25.0597	22.8821	23.4037
43	85.8618	25.1251	22.8676	23.6048
44	86.2961	25.1842	22.8883	23.2444
45	86.7564	25.2695	22.8159	23.3911
46	87.1586	25.1608	22.7751	23.4039
47	87.6081	25.249	22.8247	23.2767
48	88.0849	25.2207	22.8125	23.6376
49	88.5386	25.3154	22.8719	23.6424
50	88.9432	25.309	22.9349	23.3646
51	89.4001	25.2948	22.9098	23.244
52	89.844	25.3519	22.8371	23.6783
53	90.2598	25.4308	22.8791	23.5138
54	90.7241	25.4421	22.9303	23.6557
55	91.1619	25.3551	22.9158	23.4528
56	91.6056	25.4162	22.9702	23.6821
57	92.0598	25.4934	22.8903	23.4137
58	92.4503	25.4761	22.8943	23.5565
59	92.8646	25.6602	22.8675	23.7622
60	93.3296	25.6046	22.9479	23.3931
61	93.7675	25.5551	22.9274	23.7159
62	94.1919	25.64	22.9128	23.4219
63	94.611	25.6723	22.9003	23.5569
64	95.0449	25.7241	22.9532	23.5156
65	95.474	25.7392	22.9945	23.4955
66	95.9029	25.7868	22.9605	23.732
67	96.3285	25.7786	22.9826	23.7311
68	96.7899	25.86	23.0742	23.9656
69	97.202	25.8169	22.9796	23.6234
70	97.6285	25.9078	22.9875	23.8017
71	98.076	25.949	22.9766	23.5269
72	98.4696	25.8183	22.9582	23.3542
73	98.9192	25.9555	23.0141	23.8731
74	99.3367	26.0067	23.0628	23.4475
75	99.7483	26.0558	23.0236	23.4964
76	100.17	26.0588	23.0003	23.9942
77	100.578	26.0302	23.0316	23.7718
78	101.008	26.0846	22.9762	23.9545
79	101.457	26.1839	23.0719	24.0327
80	101.853	26.1458	23.0068	23.7165

ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
81	102.253	26.0551	22.9957	23.5103
82	102.685	26.1232	23.0428	23.7705
83	103.095	26.2494	23.0447	23.8703
84	103.504	26.1981	22.9837	23.4107
85	103.906	26.2191	23.0387	23.9594
86	104.346	26.2685	23.0496	24.0934
87	104.746	26.2511	23.0579	23.6925
88	105.172	26.2879	23.0809	23.7297
89	105.581	26.2723	23.0984	23.984
90	105.953	26.2738	23.0672	23.6301
91	106.41	26.388	23.1121	24.0251
92	106.802	26.4027	23.0477	23.809
93	107.167	26.4542	23.0586	23.8155
94	107.548	26.3866	22.975	23.3161
95	108.022	26.4578	23.0082	23.594
96	108.414	26.4425	22.9999	23.2251
97	108.826	26.4538	22.9757	23.1901
98	109.186	26.5116	22.9288	23.0156
99	109.598	26.58	22.9792	23.4086
100	110.006	26.4762	22.9231	23.481
101	110.426	26.5119	22.9795	23.2615
102	110.817	26.5142	23.002	23.5986
103	111.213	26.6402	23.0006	23.6984
104	111.615	26.7328	23.0144	23.5347
105	112.027	26.82	23.0292	24.2265
106	112.43	26.7671	23.0422	23.53
107	112.842	26.7146	23.0991	23.187
108	113.213	26.6861	23.029	23.8713
109	113.606	26.7531	23.0032	23.6934
110	114.006	26.7814	23	23.3823
111	114.404	26.8256	23.0805	24.1796
112	114.8	26.854	23.0476	23.9032
113	115.177	26.9639	23.0589	23.4779
114	115.564	26.966	23.1186	23.6338
115	115.952	27.028	23.1162	23.7507
116	116.356	27.0323	23.1231	23.8627
117	116.748	27.0322	23.1687	23.9894
118	117.139	27.1372	23.1828	23.9056
119	117.537	27.0949	23.1661	23.5995
120	117.908	27.1854	23.1446	23.7463

ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
121	118.305	27.2686	23.1541	23.8782
122	118.675	27.2527	23.0939	23.4233
123	119.057	27.1961	23.0659	23.6457
124	119.443	27.2615	23.0751	23.2133
125	119.853	27.2889	23.1321	23.2648
126	120.229	27.4074	23.0911	23.1611
127	120.583	27.4726	23.0485	23.0537
128	120.952	27.4859	23.0812	23.2563
129	121.375	27.5216	23.1281	23.1272
130	121.733	27.5276	23.1442	23.1741
131	122.11	27.5233	23.0477	23.2332
132	122.491	27.4394	22.9953	23.1084
133	122.816	27.3409	22.9841	23.0751
134	123.226	27.4823	22.9798	23.1425
135	123.615	27.7057	23.0551	23.1285
136	123.993	27.762	22.986	23.136
137	124.366	27.6743	23.0251	23.3233
138	124.722	27.3522	23.0328	23.577
139	125.115	27.3799	23.0057	23.4947
140	125.479	27.3196	23.0286	23.5072
141	125.858	27.2518	22.9861	23.3703
142	126.191	27.455	23.0482	23.3911
143	126.545	27.435	23.0762	23.1276
144	126.965	27.4302	23.1602	23.3879
145	127.319	27.5866	23.1097	23.445
146	127.653	27.5764	23.0602	23.4632
147	128.063	27.6742	23.1324	23.3544
148	128.393	27.6973	23.1369	23.3921
149	128.773	27.6524	23.0913	23.6565
150	129.165	27.7728	23.1394	23.7726
151	129.512	27.7376	23.129	23.5112
152	129.853	27.7571	23.1391	24.3384
153	130.256	27.8839	23.1399	23.7361
154	130.588	28.0255	23.1736	23.5845
155	130.959	27.7342	23.2162	24.0875
156	131.351	27.7546	23.1682	23.7065
157	131.676	27.8381	23.226	23.929
158	132.05	27.8333	23.2075	23.554
159	132.365	27.8461	23.2162	23.9291
160	132.741	28.0617	23.1515	24.1927

ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
161	133.105	28.1361	23.2818	23.7241
162	133.454	28.0436	23.2213	24.0543
163	133.846	28.0307	23.2567	23.6905
164	134.156	28.1764	23.2046	24.0142
165	134.49	28.2874	23.2247	24.2566
166	134.854	28.1512	23.2499	23.9639
167	135.205	28.2758	23.2834	24.164
168	135.558	28.3902	23.2901	23.7764
169	135.908	28.2681	23.2715	23.8196
170	136.273	28.3335	23.3011	24.1767
171	136.649	28.2655	23.3235	23.722
172	136.952	28.2761	23.2048	23.6656
173	137.315	28.1999	23.1952	23.9572
174	137.687	28.4561	23.1264	23.4349
175	137.984	28.435	23.2089	23.4321
176	138.336	28.4579	23.1726	23.71
177	138.656	28.3907	23.2003	23.6704
178	139.042	28.2264	23.2095	23.7607
179	139.352	28.391	23.1541	23.3811
180	139.716	28.5047	23.2277	23.6298
181	140.052	28.3883	23.1426	23.3226
182	140.39	28.4652	23.23	23.4006
183	140.743	28.6744	23.2362	23.3541
184	141.097	28.577	23.2686	23.3788
185	141.416	28.6236	23.2426	23.6851
186	141.753	28.4794	23.2164	23.4452
187	142.065	28.6103	23.2048	23.7405
188	142.43	28.7457	23.2456	23.7698
189	142.762	28.7727	23.2532	23.7506
190	143.074	28.7219	23.2189	23.4797
191	143.405	28.708	23.2572	23.7401
192	143.735	28.6915	23.2025	23.6791
193	144.068	28.8308	23.2763	23.5227
194	144.417	28.9119	23.3071	23.7885
195	144.73	28.9922	23.3699	23.3711
196	145.074	28.8646	23.3498	23.5469
197	145.399	28.7855	23.3718	23.6041
198	145.743	28.7117	23.3745	23.6627
199	146.062	28.7854	23.4237	23.8759
200	146.365	28.9601	23.3965	24.1317

ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
201	146.746	28.9424	23.4114	23.9242
202	147.031	29.0757	23.457	24.3042
203	147.373	28.7473	23.4197	24.0781
204	147.69	28.9183	23.3692	24.107
205	148.032	28.9166	23.3372	24.3869
206	148.356	29.0306	23.3873	23.7001
207	148.64	29.0822	23.3666	23.5482
208	148.962	29.1827	23.376	23.8316
209	149.332	29.2433	23.4066	23.799
210	149.615	29.3601	23.4405	23.8077
211	149.945	29.1522	23.3802	23.7101
212	150.247	29.1674	23.3814	24.0378
213	150.53	29.2848	23.3166	23.4597
214	150.926	29.3714	23.3657	23.6243
215	151.214	29.2572	23.2959	23.6872
216	151.529	29.2594	23.3576	23.7593
217	151.844	29.3653	23.3527	23.666
218	152.159	29.4071	23.2247	23.4249
219	152.47	29.2754	23.2171	23.4518
220	152.791	29.321	23.2795	23.7011
221	153.086	29.3888	23.2595	23.5602
222	153.397	29.3446	23.3015	23.546
223	153.735	29.3715	23.3739	23.4969
224	154.05	29.4122	23.3805	23.5351
225	154.372	29.3933	23.3522	23.5525
226	154.647	29.254	23.3157	23.702
227	154.989	29.3064	23.3349	23.6299
228	155.271	29.1739	23.2628	23.8754
229	155.584	29.2893	23.2974	23.752
230	155.914	29.1751	23.4061	23.6492
231	156.194	29.2839	23.3093	23.5074
232	156.521	29.6108	23.3695	23.517
233	156.781	29.6545	23.3017	23.4664
234	157.112	29.4819	23.3698	23.5018
235	157.394	29.5713	23.3244	23.4623
236	157.72	29.5473	23.3625	23.4243
237	157.99	29.6262	23.3622	23.5005
238	158.314	29.7252	23.4304	23.6063
239	158.587	29.7857	23.3839	23.8435
240	158.925	29.8021	23.4189	24.2821

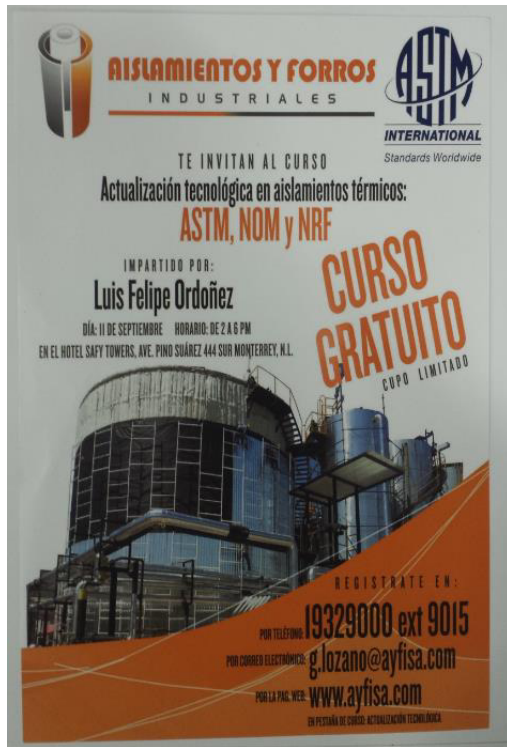
ANEXO R-4

Tabla de resultados obtenidos en la 4ª Corrida. (06-Dic-2014)

Tiempo (min)	Temperatura (°C) T. interna	Temperatura (°C) T. externa	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Resistencia	Temperatura (°C) T. Amb. Lado Libre
241	159.211	29.7308	23.4505	24.0512
242	159.518	30.0069	23.5269	23.5185
243	159.778	29.8738	23.5534	23.8475

Valor Agregado

Asistencia al Curso de Actualización tecnológica en aislamientos térmicos: ASTM, NOM y NRF.



24 Octubre • 2014 | www.somosindustria.com

Cursos

Ofrecen actualización tecnológica de aislamiento térmico

Aislamientos y Forros Industriales realiza su tercer curso anual

RUSÉN NAVA/ NUEVO LEÓN

CON EL OBJETIVO DE CREAR CONCIENCIA en la necesidad del cumplimiento de las normas de aislamientos térmicos y capacitar a la gente involucrada en los diversos procesos industriales, es que se llevó a cabo la primera edición del curso "Actualización Tecnológica de Aislamiento Térmico: ASTM, NOM y NRF".

El evento fue organizado por la empresa Aislamientos y Forros Industriales, quien reunió en el Hotel Saff Towers a más de 40 asistentes, entre ellos contratistas, operarios industriales y empresarios independientes, quienes presenciaron el curso impartido por Luis Felipe Ordoñez Cortés, Director General de Efiterm y miembro de ASTM International.

"Uno de los puntos esenciales que decidimos señalar en este curso, además de crear una conciencia en el cumplimiento de estas normas, es observar cómo ha evolucionado el mercado con el enfoque a estas mismas, a su vez capacitar a los asistentes para que puedan tomar mejores decisiones respecto al tema de aislamientos térmicos", manifestó



Foto grupo de los asistentes, al Foro de Actualización Tecnológica de Aislamiento Térmico: ASTM, NOM y NRF.



Luis Felipe Ordoñez Cortés, Director General de Efiterm y representante de ASTM.

tó Fernando Villarreal, Gerente General de Aislamientos y Forros Industriales.

Durante la exposición se detallaron los requisitos que deben seguir las compañías del ramo industrial para cumplir con la norma NOM-009 y la NRF-004, las cuales se enfocan en la eficiencia energética en los diferentes procesos industriales de todo tipo, a través de aislamientos térmicos.

Asimismo se detalló que gracias al uso de los aislamientos térmicos y la optimización de sus procesos, las plantas industriales pueden tener una mejor operación y una mayor productividad con una reducción

de costos sobresaliente, obteniendo así un producto o servicio más competitivo en el mercado global.

"Si una empresa cumple con estos puntos colabora para la conservación de los recursos naturales, al eficientar cualquier tipo de energía que implique calor o frío", enfatizó el Director General de Efiterm.

Cabe mencionar que para el cumplimiento de dichas normas hoy en día no existe un proceso de certificación, no obstante los únicos requisitos necesarios para estar al corriente es demostrar que sus equipos industriales no pierden más calor de lo que deben.

Se informó que los asistentes elaborados por filtros minerales de roca, estos pueden ofrecer una variedad de ventajas en los procesos industriales de las empresas, como resistir a las altas temperaturas o tener un excelente comportamiento ante condiciones de incendio, además de brindar protección a los equipos e instalaciones de las compañías.

Contacto
Aislamientos y Forros Industriales
(01) 1932-9000
www.ayfisa.com

Bibliografía

- [1] NRF-034-PEMEX-2011, Aislamientos Térmicos para Altas Temperaturas en Equipos, Recipientes y Tubería Superficial.
- [2] AFELMA, Asociación de Fabricantes Españoles de Lanasy Minerales Aislantes. www.aislar.com/
- [3] ASTM C-1094, Standard Guide for Flexible Removable Insulation Covers
- [4] NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.
- [5] ASTM C-195, Mineral Fiber Thermal Insulation Cement
- [6] Cengel, Yunus A. - Transferencia de Calor y Masa – 3ª Ed.
- [7] Incropera, Frank P. / De Witt, David P. - Fundamentos de Transferencia de Calor – 4ª Ed.
- [8] Kern, Donald Q. - Procesos de Transferencia de Calor – Trigésima primera reimpresión
- [9] Paul G. Hewitt - Física Conceptual – 9ª Ed.
- [10] ISO 13709:2009, Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries.